

EXPERIENTIA



REVUE MENSUELLE DES SCIENCES PURES ET APPLIQUÉES
MONATSSCHRIFT FÜR DAS GESAMTE GEBIET DER NATURWISSENSCHAFT
RIVISTA MENSILE DI SCIENZE PURE E APPLICATE
MONTHLY JOURNAL OF PURE AND APPLIED SCIENCE

Editores:

A.v. MURALT · L. RUZICKA · J. WEIGLE
Bern Zürich Genève

Redactor: H. MISLIN, Basel

VERLAG BIRKHÄUSER AG · BASEL 10
SUISSE · SCHWEIZ · SVIZZERA · SWITZERLAND

Vol. IV - Fasc. 3

15. III. 1948

Fr. 2.50

SOMMAIRE - INHALT - SOMMARIO - CONTENTS

G. VIAUD: Le phototropisme et les deux modes de la photoréception	81
A. PREY: Die modernen Methoden und Ergebnisse der Geophysik	88
H. THEORELL: Über die Wirkungsweise der Katalasen	100

Brèves communications - Kurze Mitteilungen - Brevi comunicazioni - Brief Reports

E. GALICO e B. CAMERINO: Azione riducente dei raggi X su soluzioni di bleu di metilene	109
K. KRATZL: Zur Biogenese des Lignins	110
S. RANZI, P. CITTERIO, and M. GIUDICI: Effects of Lithium Cation and of Thiocyanate Anion on the Viscosity of Solutions of Proteins from Eggs and Embryos	112
A. POLICARD: Réactions cytologiques à l'introduction pulmonaire expérimentale de particules de silicium métalloïdique	113
R. ABDERHALDEN: Über einen körpereigenen Leukozytose bewirkenden Faktor	114
F. MULÈ: Sul meccanismo di azione della streptomicina	115

Nouveaux livres - Buchbesprechungen - Recensioni - Reviews

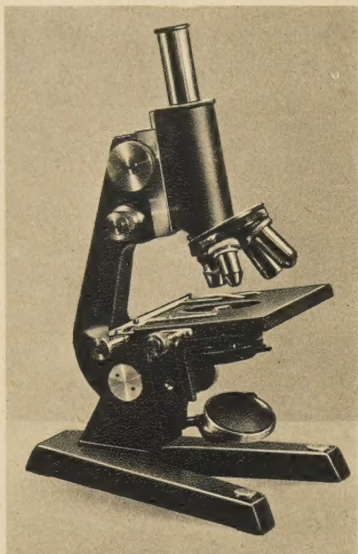
Contribution to the Physics of Cellulose Fibres. By P. H. Hermans (Elsevier Publishing Co., Inc., Amsterdam, 1946) (Ref. A. Frey-Wyßling)	117
Dynamic Aspects of Biochemistry. By E. Baldwin (Cambridge University Press, Cambridge, 1947) (Ref. E. A. Zeller)	117
Zwischenhirn und vegetative Funktionen. Von W. R. Heß (Benno Schwabe, Basel 1947) (Ref. K. Akert)	118
Visible Speech. By R. K. Potter, G. A. Kopp, and H. C. Green (D. Van Nostrand & Co., New York - Macmillan & Co. Ltd., London, 1947) (Ref. E. Baldinger)	118

Informations - Informationen - Informazioni - Notes

Die Zoologische Station in Neapel	119
International Physical Meeting	120

REICHERT

Mikroskope besitzen Weltruf



Generalvertretung für die Schweiz:

CARL BITTMANN, BASEL

Petersgraben 33 Telefon (061) 2 22 38

ELEMENTE DER MATHEMATIK

Revue de mathématiques élémentaires

Rivista di matematica elementare

Zeitschrift zur Pflege der Mathematik und zur

Förderung des mathematisch-physikalischen Unterrichts

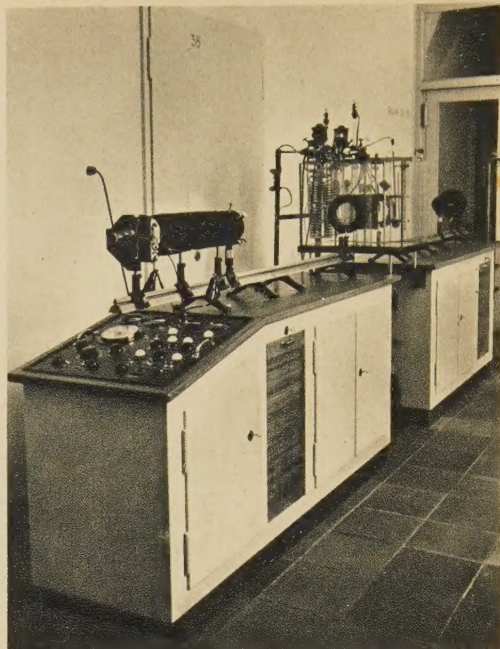
*Organ für den Verein Schweizerischer
Mathematiklehrer*

Die Zeitschrift hat in ihrem Arbeitsbereich Abhandlungen aus allen Gebieten der reinen und angewandten Mathematik, der mathematischen Physik und der Geschichte der Mathematik aufgenommen, die für ein breiteres Publikum von allgemeinem Interesse sind. Sie versucht, durch Forschungsberichte und Literaturübersichten die Verbindung zwischen der Schulmathematik und der wissenschaftlichen Forschung aufrechtzuerhalten. Die zahlreichen Aufgaben, für die eine besondere Rubrik reserviert wurde, sollen dem Lehrer mannigfache Hinweise für den Unterricht geben.

*Abonnementspreis für jährlich 6 Hefte
im Umfang von je 16-24 Seiten Fr. 6.— (Ausland Fr. 9.—)
Einzelnnummer Fr. 1.50*

Abonnementsbestellungen durch jede Buchhandlung

VERLAG BIRKHÄUSER · BASEL



High Precision Electrophoresis

for direct diagram recording outfit **Fokal-B**
for Philpot diagram recording
for scale records

Manufactured by **STRÜBIN & Co.**, Basle, Switzerland
Gerbergasse 25

Die «Experientia» erscheint am 15. jedes Monats und kann durch jede Buchhandlung oder direkt beim Verlag bezogen werden. Jahresabonnement Fr. 24.—, Ausland sFr. 28.—; Einzelnummer Fr. 2.50.

Alle redaktionellen Zuschriften sind ausschließlich an den Verlag zu richten; Redaktionsschluß 35 Tage vor Erscheinungstermin.

Die Autoren erhalten 50 Gratisseparata im Format 14,5 × 21 cm ohne Umschlag. Die Kosten für weitere Separata und für Umschläge sind beim Verlag zu erfragen. Separata sind vor dem Druck der Zeitschrift zu bestellen.

Insertionspreise: $\frac{1}{1}$ Seite Fr. 200.—, $\frac{1}{2}$ Seite Fr. 120.—, $\frac{1}{4}$ Seite Fr. 70.—, $\frac{1}{8}$ Seite Fr. 40.—. Für 6 Inserate 5%, für 12 Inserate 10% Rabatt. Aufträge an den Verlag.

L'«Experientia» paraît le 15 de chaque mois. Vente et abonnement dans toutes les librairies ou chez l'éditeur. Abonnement fr. 24.— par an pour la Suisse, pour l'étranger fr.s. 28.—; le numéro fr. 2.50.

Adresser toute correspondance touchant la rédaction exclusivement à l'éditeur; dernier délai d'admission pour les manuscrits: 35 jours avant la parution.

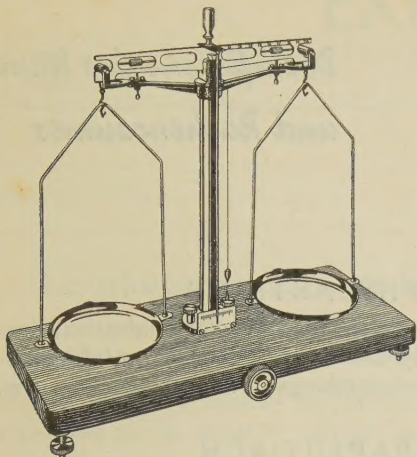
Les auteurs recevront gratuitement 50 tirés à part de format 14,50 sur 21 cm, sans couverture. Pour le prix d'un nombre plus grand et pour la couverture s'adresser à l'éditeur.

Annonces: $\frac{1}{1}$ page fr. 200.—, $\frac{1}{2}$ page fr. 120.—, $\frac{1}{4}$ page fr. 70.—, $\frac{1}{8}$ page fr. 40.—. Rabais: 5% pour 6 annonces, 10% pour 12 annonces. Demandes à l'éditeur.

Verlag Birkhäuser AG., Basel 10 (Schweiz), Elisabethenstrasse 15,
Telephon (061) 4 98 00, Telegrammadresse: Edita Basel

EXPER.

Printed in Switzerland — E. Birkhäuser & Co., Basel



Präzisionswaage

Tragkraft 250 g, Empfindlichkeit 2 mg

Verlangen Sie Offerte

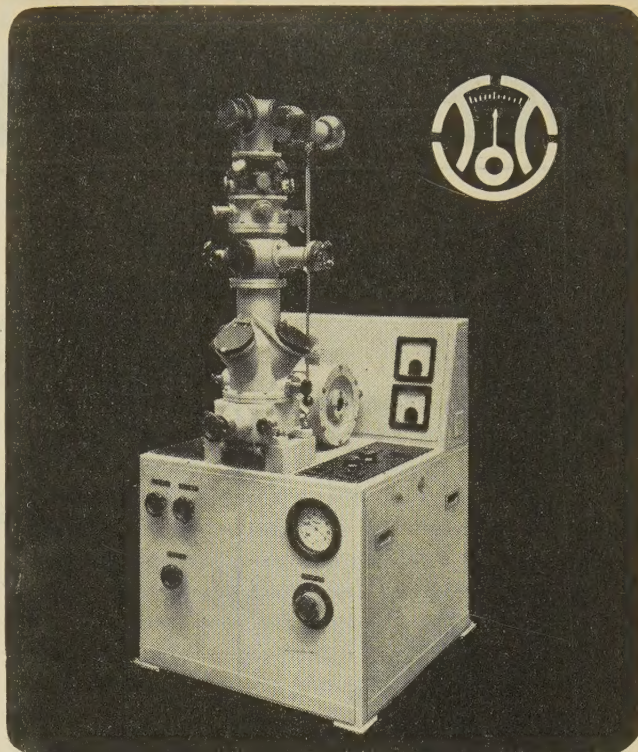
CARL KIRCHNER AG., BERN

Freiestraße 12

Telephon (031) 2 45 97

Elektronen-Diffraktographen

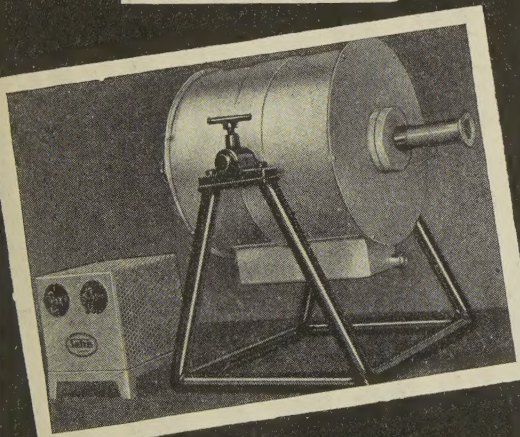
für Feinstrukturuntersuchungen der Materie



Trüb, Täuber & Co. AG.

Fabrik elektrischer Meßinstrumente und wissenschaftlicher Apparate, Zürich
Besuchen Sie uns an der Schweizer Mustermesse in Basel, Halle V, Stand 1232

Salvis



ELEKTRISCHE WÄRMEGERÄTE
FÜR LABORATORIEN

SALVIS AG. LUZERN

FABRIK ELEKTR. APPARATE

Wissenschaftliche Instrumente

Apparate für optisch-
chemische Analyse

Hochvakuum-Aggregate

Mikroskope und Zubehör

N. ZIVY & C^{IE}

Basel, Spalenring 164

Telephon (061) 2 59 90

METHURAL

*Desinfiziens des Mund-
und Rachenraumes*



SCHAFFHAUSEN

PROPHYLAKTISCH

Grippale Infektionen, aerogene und Tröpfcheninfektion, speziell bei Epidemien wie Diphtherie und Scharlach. Bei Infektionsgefahr in Schulen, bei Versammlungen, Krankenbesuchen usw.

THERAPEUTISCH

Angina, Erkältungen, Schluckbeschwerden, Husten, Diphtheriebazillenträger, Diphtherierekonvaleszente, Nachbehandlung bei Tonsillektomie

HANDELSFORMEN

1. aromatisiert mit Menthol
2. aromatisiert mit Anethol

in Packungen à 36, 250 und 1000 Tabletten zu 0,7 g



Lichés
STEINER+CO BASEL

SCHUTZENMATTSTRASSE 31 TELEPHON 49910/19

Le phototropisme et les deux modes de la photoréception

Par G. VIAUD¹, Strasbourg

Les animaux inférieurs, comme les plantes, sont attirés ou repoussés par la lumière, suivant les circonstances. La lumière exerce sur les uns et sur les autres une double action: elle les oriente vers la direction d'où elle émane, ou en sens opposé, et elle les fait progresser ou pousser dans l'une ou l'autre de ces directions. Depuis J. LOEB², on donne à ces phénomènes le nom général de «phototropisme», en ajoutant que celui-ci est «positif» ou «négatif» suivant le sens du mouvement vers la source lumineuse ou vers l'ombre).

Dans cet article, il sera surtout question du phototropisme animal, mais nous ferons aussi état de résultats récents obtenus dans les recherches sur le phototropisme végétal, pour mieux mettre en évidence certains caractères généraux du phototropisme qui ont échappé longtemps aux investigations des physiologistes.

Le phototropisme animal présente un caractère fondamental qu'avait parfaitement reconnu LOEB: c'est la réaction «impérieuse» ou «forcée», déclenchée et entretenue par l'excitant lumineux. Un animal phototrope positif va d'autant plus rapidement et d'autant plus droit vers la lumière que celle-ci est plus intense. Avec S. O. MAST³, on peut distinguer dans le comportement phototrope deux types de réactions: a) les *réactions photokinétiques*, qui sont des réponses aux variations d'intensité de l'excitant, indépendantes de la vitesse avec laquelle se produisent ces variations, qui affectent seulement la rapidité de la locomotion: celle-ci varie, d'une manière tout à fait générale, proportionnellement au logarithme de l'intensité lumineuse; b) les *réactions-chocs* (shock reactions), qui sont aussi des réponses à des variations d'intensité de l'excitant, mais qui dépendent à la fois de la vitesse et de la grandeur de ces variations. De telles réactions commandent l'orientation de l'animal dans le champ lumineux, le détournant de régions peu éclairées dans le cas du phototropisme positif, de régions trop éclairées dans le cas du phototropisme négatif.

Le sens du phototropisme dépend de la manière dont l'animal supporte la lumière d'expérience dans des con-

ditions données. Le phototropisme négatif se manifeste, en effet, en général chez les animaux qui supportent très mal l'action de la lumière (animaux lucifuges); le phototropisme positif chez les animaux qui la supportent bien, même si son intensité est forte (animaux lucicoles); chez les animaux de type intermédiaire (comme les Daphnies), on observe une alternance de phases positives et négatives, alternance plus ou moins régulière, qui tient à l'état physiologique de ces animaux, et dont les périodes varient avec l'intensité de la lumière¹. D'une manière générale, on peut donc dire que le sens du phototropisme dépend de la «capacité photopathique» de l'animal par rapport à la lumière d'expérience, le terme «photopathie» ayant été précisément conçu pour grouper les réactions qui dépendent de la manière dont l'animal supporte la lumière.

Les faits fondamentaux que nous venons d'exposer peuvent être établis à l'aide d'expériences faites avec de la lumière blanche, dont on fait varier l'intensité, ou avec des lumières composées des mêmes radiations et qui ne diffèrent entre elles que par leurs degrés d'intensité. Les résultats de ces expériences sont relativement faciles à interpréter. Aussi beaucoup de ces faits sont-ils connus depuis assez longtemps.

Les expériences faites avec des lumières monochromatiques, instituées pour savoir comment varient les réactions phototropiques en fonction de la longueur d'onde des radiations, sont au contraire difficiles à interpréter. Dans de telles expériences, on doit, cela va presque sans dire, opérer avec des radiations monochromatiques dont on a mesuré ou mieux égalisé l'énergie qu'elles transportent. Cette condition fondamentale n'a pas toujours été observée par les auteurs, d'où une première difficulté pour l'interprétation des résultats obtenus. Mais cette première difficulté écartée, il en reste d'autres qui tiennent au fait que les variations des réactions en fonction des longueurs d'onde se présentent très différemment selon que l'on s'adresse à tel ou tel aspect réactionnel du comportement phototrope, et à telle ou telle espèce animale.

Et cependant l'expérimentation avec des lumières monochromatiques est absolument nécessaire pour ré-

¹ Faculté des sciences de l'Université de Strasbourg.

² J. LOEB, *Der Heliotropismus der Tiere usw.* (Würzburg 1890).

³ S. O. MAST, *Motor responses to light in the invertebrate animals*, in: *Biological effects of radiations*, 17 (New York and London, 1936).

¹ G. VIAUD, *Recherches expérimentales sur le phototropisme des Daphnies* (Strasbourg-Paris 1938).

soudre le problème, particulièrement difficile, de la détermination des niveaux d'absorption de la lumière, c'est-à-dire connaître les organes photorécepteurs en jeu dans les réactions phototropiques.

Si on passe en revue les résultats obtenus par les auteurs qui ont travaillé en se plaçant dans de bonnes conditions physiques, on s'aperçoit que l'on peut classer sous quatre types principaux les courbes qui symbolisent l'efficacité de l'action des radiations lumineuses sur les réactions phototropiques:

1° Des courbes en cloche avec un maximum dans la région moyenne du spectre visible (le plus souvent vers λ 530–540 $m\mu$, dans le vert). Ces courbes sont obtenues principalement par la mesure des réactions d'orientation chez des animaux inférieurs possédant des yeux ou des ocelles bien constitués, dans un champ lumineux formé de deux lumières se croisant sous un certain angle, l'une des lumières étant de composition et d'intensité constantes et servant de base de comparaison, l'autre, monochromatique, pouvant varier dans sa longueur d'onde. L'expérience réussit particulièrement bien avec des animaux qui suivent exactement la «loi des résultantes», c'est-à-dire qui prennent une direction

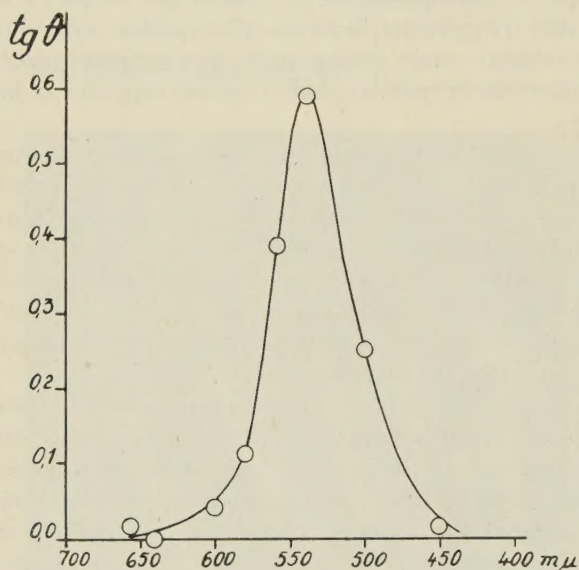


Fig. 1. Efficacité de l'action des radiations lumineuses sur les réactions d'orientation phototropique du Rotifère *Brachionus pala*. Cette efficacité est mesurée par la tangente de l'angle d'orientation θ donnée par la formule de J. BUDER: $tg \theta = I/I'$, où I est l'intensité de l'excitation causée par la lumière monochromatique d'expérience, I' l'intensité de l'excitation due à la lumière de comparaison, les deux faisceaux se croisant à angle droit (G. VIAUD, 1938).

intermédiaire entre les rayons en faisceaux cylindriques émanés des deux sources, direction faisant un angle d'autant plus aigu avec l'un des faisceaux que les rayons de celui-ci excitent davantage les animaux (fig. 1). C'est l'orientation dite «tropotactique».

2° Des courbes d'allure plus ou moins sigmoïde, avec un maximum dans le violet, ou même dans le proche ultra-violet. Ces courbes sont obtenues, d'une manière très

générale, chez les animaux inférieurs avec ou sans yeux, par la mesure de leurs réactions photokinétiques (vitesse de progression) dans des champs lumineux homogènes formés de radiations monochromatiques. Le fait remarquable de la progression particulièrement rapide des animaux phototropiques positifs dans les courtes longueurs d'onde visibles a été signalé à maintes reprises depuis LOEB (fig. 2).

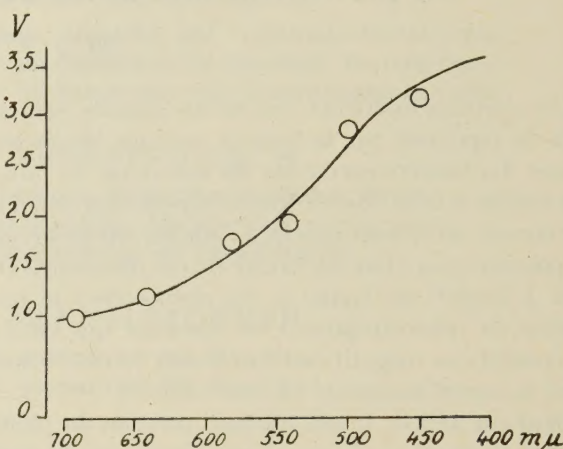


Fig. 2. Efficacité de l'action des radiations lumineuses sur les réactions photokinétiques du Cladocère *Daphnia pulex*. Cette efficacité est mesurée par la vitesse relative V de la progression des animaux vers la lumière (G. VIAUD, 1938).

3° Des courbes qui sont presque les inverses des précédentes, c'est-à-dire qui ont un maximum dans le rouge ou l'orangé et une chute plus ou moins rapide vers le violet ou l'ultra-violet. Telles sont les courbes de l'«attraction relative» par les lumières spectrales des animaux lucifuges, c'est-à-dire le plus souvent négatifs. On les obtient, comme l'a fait V. GRABER¹ dès 1884, en faisant la statistique des individus qui «recherchent» telle ou telle lumière et s'y cantonnent, dans le cas où plusieurs lumières leur sont présentées simultanément (fig. 3). En 1938, j'ai montré que les animaux qui ne sont pas plus lucicoles que lucifuges, comme les Daphnies, se répartissent dans des champs lumineux monochromatiques selon la même loi, c'est-à-dire que la majorité des individus des populations finit par se stabiliser d'autant plus près de la source que la longueur d'onde est plus grande, d'autant plus loin de la source que la longueur d'onde est plus courte.

4° Des courbes indiquant deux maxima d'efficacité, l'un dans le vert ou le jaune-vert, l'autre dans le violet ou le proche ultra-violet. Par exemple, les courbes du pouvoir attractif relatif des radiations pour l'Abeille et la Drosophile (animaux très lucicoles), publiées par L. M. BERTHOLF en 1931–32². Elles ont deux maxima, l'un dans la région moyenne du spectre visible, l'autre dans l'ultra-violet, à 365 $m\mu$. Elles ont été obtenues en fai-

¹ V. GRABER, Grundlinien zur Erforschung des Helligkeits- und Farbensinnes der Tiere (Prag-Leipzig 1884).

² L. M. BERTHOLF, J. Agric. Res. 43, 703 (1931); Z. vergl. Physiol. 18, 32 (1933).

sant la statistique des individus qui sont attirés (orientation et photokinèse) par diverses radiations monochromatiques, chacune de ces radiations étant présentée aux animaux sous forme d'un faisceau horizontal cylindrique qui est dirigé sur eux en même temps qu'un faisceau horizontal de lumière blanche venant d'une autre direction et servant de base de comparaison (fig. 4). L'orientation est ici de type «télotactique» et ne donne pas lieu à l'application de la «loi des résultantes».

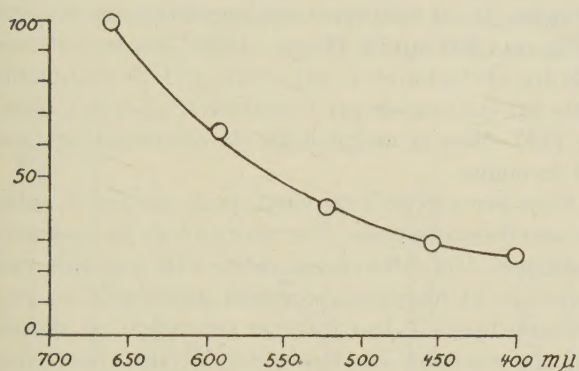


Fig. 3. Efficacité de l'action des radiations lumineuses sur les réactions photopathiques du Lombric. Cette efficacité est mesurée par le pourcentage des individus recherchant chaque radiation (V. GRABER, 1883).

À partir de 1938, à la suite de mes travaux sur les Daphnies, j'ai émis l'hypothèse que toutes ces courbes pouvaient être interprétées de la façon suivante, à l'aide d'un petit nombre de principes :

1^o Les courbes du premier type traduisent la *sensibilité des photorécepteurs visuels* dans les diverses radiations spectrales. Elles sont, en effet, très semblables à celles de la sensibilité des cônes et des bâtonnets de la

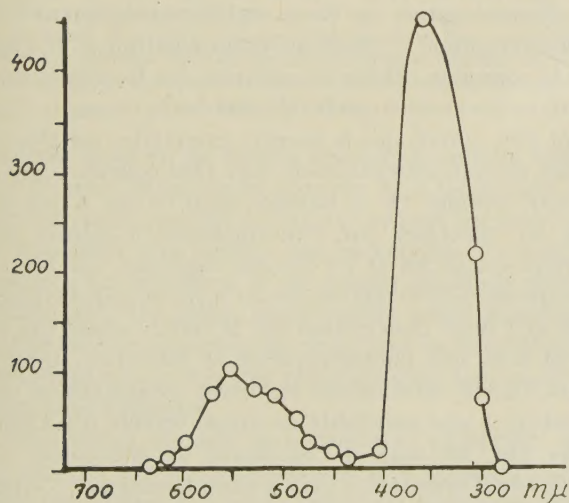


Fig. 4. Efficacité de l'action des radiations lumineuses sur les réactions phototropiques (orientation et photokinèse) de l'Abeille domestique. Cette efficacité est mesurée par le nombre d'individus se dirigeant vers les radiations monochromatiques lorsqu'ils sont stimulés à la fois par l'une ou l'autre de ces radiations et par de la lumière blanche (L. M. BERTHOLF, 1931).

rétilne des Vertébrés supérieurs et aux courbes de la sensibilité des organes oculaires des animaux inférieurs dont on a pu étudier les perceptions visuelles. Le fait que les courbes de ce type sont toujours obtenues dans les réactions d'orientation axiale phototropique des animaux oculés montre que l'œil est surtout, et peut-être exclusivement chez la plupart des Inférieurs, un appareil sensoriel destiné à orienter l'animal dans la lumière.

2^o Les courbes du deuxième type seraient des courbes de la *sensibilité dite dermatoptique*. C'était déjà l'idée de V. GRABER. Depuis, nombre d'auteurs ont signalé le rôle important de la sensibilité des téguments cutanés ou de divers tissus du corps à la lumière dans le phototropisme. Mais aucun, à ma connaissance, n'a systématiquement mis en avant, comme GRABER, cette hypothèse que c'est le sens dermatoptique qui fait progresser l'animal vers la lumière.

Mes analyses expérimentales du phototropisme des Daphnies (1932-38)¹ du phototropisme des Rotifères (1939-43)², du phototropisme des Planaires (encore inédites), m'ont montré que chez tous ces animaux les impulsions motrices positives (photokinèse) dépendent de l'excitation photique de récepteurs tout à fait différents des appareils oculaires. En effet, les vitesses positives de ces animaux dans les diverses radiations spectrales varient selon les courbes du deuxième type (tandis que la précision de l'orientation chez les animaux oculés varie suivant les courbes du premier type) ; et, d'autre part, les animaux privés d'yeux (soit normalement soit autrement), mais qui n'en sont pas moins phototropiques positifs, se comportent dans leurs réactions photokinétiques (et aussi dans leurs réactions d'orientation) en lumières monochromatiques suivant les courbes du deuxième type.

On peut donc en conclure, a) que c'est le sens dermatoptique (ou un sens analogue) qui constitue le niveau d'absorption de la lumière d'où partent les incitations motrices qui font progresser les animaux vers la lumière ; b) que c'est le sens dermatoptique qui joue le rôle fondamental dans le phototropisme positif, puisqu'il suffit seul à assurer ce comportement, les appareils oculaires ne servant, quand ils existent, qu'à orienter axialement l'animal avec plus ou moins de précision dans les faisceaux lumineux.

3^o Les courbes du troisième type traduiraient les variations de la «capacité photopathique» de nombreux animaux dans les radiations monochromatiques d'égale énergie. En règle générale, on peut poser qu'un animal supporte d'autant moins bien et moins longtemps une lumière que celle-ci l'excite davantage. Les animaux, comme le Lombric, qui supportent mal la lumière en général, et dont les réactions phototropiques dépendent surtout ou exclusivement des excitations du sens dermatoptique, seront fortement incommodés par

¹ G. VIAUD, op. cit.

² G. VIAUD, Bull. Biol. 74, 249 (1940) ; 77, 68, 224 (1943).

les radiations violettes et ultraviolettes et rechercheront au contraire les radiations rouges ou orangées qui n'excitent que faiblement leurs téguments cutanés. Les courbes de la répartition statistique de ces animaux dans les lumières spectrales seront donc à peu près les inverses des courbes du deuxième type. Il en sera encore relativement de même pour les Daphnies, lesquelles supportent beaucoup mieux que les Lombrics les lumières à courtes longueurs d'onde, mais ne supportent bien et longtemps que les radiations de la moitié du spectre visible située du côté du rouge.

⁴⁰ Les courbes du quatrième type sont évidemment des combinaisons de celles des deux premiers types: le premier maximum correspond assez bien au maximum de la sensibilité des récepteurs visuels, le deuxième au maximum de la sensibilité du sens dermatoptique (ce qui nous donne une indication sur sa position dans l'échelle des radiations). Ces courbes, qui sont des courbes statistiques indiquant le pouvoir attractif des radiations spectrales, ne peuvent être mises en évidence que chez les animaux oculés et très lucicoles, comme l'Abeille et la Drosophile. On comprend en effet que, si ces animaux supportent également bien toutes les radiations depuis le rouge jusqu'à l'ultra-violet voisin de λ 365 m μ (l'expérience le prouve), néanmoins ils sont attirés au maximum par les longueurs d'onde qui exercent sur eux la plus forte action orientante ou la plus forte action photokinétique, c'est-à-dire qui agissent au maximum sur leurs yeux et sur leur sens dermatoptique.

Toutes les recherches expérimentales faites sur des animaux phototropiques avec des radiations monochromatiques d'égale énergie ont donné des courbes d'«efficacité» de l'action de ces radiations qui appartiennent à l'un ou l'autre des quatre types que nous venons de décrire. Nous pensons donc pouvoir conclure que l'on peut expliquer toutes les modalités du phototropisme animal en lumières monochromatiques en faisant appel à deux types de photoréception: la *photoréception visuelle*, dont la sensibilité est à son maximum entre 500 et 550 m μ environ, et la *photoréception dermatoptique* dont la sensibilité maxima se trouve vers les ondes courtes, et très probablement dans le proche ultra-violet, aux environs de 365 m μ .

Les faits que nous venons d'exposer nous conduisent à préciser la notion de sens dermatoptique. Malgré les travaux assez nombreux qui ont été consacrés à cette question depuis les premières observations, dues à G. POUCHET (1872)¹, ce sens est encore mal connu et la notion que s'en font les physiologistes est mal définie. Beaucoup englobent indifféremment sous ce nom la photoréception des téguments cutanés et celle des récepteurs spécialisés épars dans la peau et localisés, bien qu'ils ne soient pas toujours nettement différen-

ciés morphologiquement. Mais de tels récepteurs sont au moins physiologiquement différenciés, c'est-à-dire contiennent des pigments sensibilisateurs spéciaux, qui se manifestent par une sensibilité aux lumières spectrales tout à fait différente de celle que nous avons donnée comme type de la sensibilité dermatoptique. Ainsi, il existe dans le siphon de la Mye deux espèces de photorécepteurs différenciés, les uns qui commandent les réactions à l'obscurité, les autres les réactions à l'éclairement (qui ne sont d'ailleurs ni les unes ni les autres des réactions phototropiques); les premiers de ces récepteurs ont leur maximum de sensibilité vers 500 m μ (S. HECHT, 1920)¹, les seconds vers 580 m μ (KOLLER et v. STUDNITZ, 1934)². Semblables faits ont été trouvés par UNTEUTSCH³ chez le Lombric en 1937. Mais la morphologie de ces récepteurs nous est inconnue.

Nous pensons qu'il convient, pour clarifier la notion de sens dermatoptique, d'en exclure tous les récepteurs photiques déjà différenciés, même s'ils sont très rudimentaires et morphologiquement indistincts, ou presque indistincts, si leur présence cependant est signalée par une sensibilité aux lumières spectrales appartenant au type visuel (maximum dans la région moyenne du spectre dit visible), ce qui démontre qu'ils possèdent des pigments sensibilisateurs spéciaux. A notre avis donc, le terme de sens dermatoptique doit exclusivement désigner la réception photique de téguments ou d'autres tissus indifférenciés quant à la photoréception et sensibles au maximum aux ondes courtes du spectre visible ou à celles du proche ultra-violet. Cette acception est d'ailleurs la plus conforme au sens premier donné par les anciens auteurs (GRABER en particulier).

Sur un point précis nous avons pu démontrer expérimentalement la liaison que nous indiquons entre les trois notions de: sensibilité de «type dermatoptique» — photoréception de tissus indifférenciés quant à la photoréception — réactions photokinétiques. Il s'agit de la couronne ciliaire locomotrice des Rotifères, dont nous avons montré que les cils ont des battements d'autant plus grands que la lumière excitatrice est plus intense ou que ses radiations sont plus courtes (dans le spectre visible). Or, la lumière, dans ce cas, n'agit pas sur les effecteurs par l'intermédiaire d'organes sensoriels spécialisés et du système nerveux, car celui-ci n'a qu'une action inhibitrice sur le mouvement ciliaire; elle agit donc directement sur la cellule ciliée, qui est ainsi à la fois photoréceptrice et effectrice. D'autre part, l'ocelle cérébral des Rotifères (Brachions en particulier) a une sensibilité de «type visuel» (maximum vers 530–540 m μ) et commande exclusivement des réactions d'orientation (œil de «sens lumineux»), comme nous l'avons dit plus haut. La vitesse de déplacement du Rotifère, mesurée sur l'axe rectiligne central de sa

¹ D'après E. JOURDAN, Les sens chez les animaux inférieurs (Paris 1889), p. 220.

² S. HECHT, J. Gen. Physiol. 3, 1 (1920–21).

³ E. KOLLER et E. v. STUDNITZ, Z. vergl. Physiol. 20, 388 (1934).

⁴ W. UNTEUTSCH, Zool. Jb. Physiol. 58, 69 (1937).

trajectoire hélicoïdale quand il va vers la lumière, est à la fois fonction des réactions photokinétiques des cellules ciliées locomotrices qui font varier la vitesse de nage de l'animal, et de la précision de l'orientation de son corps dans le champ lumineux qui fait varier le diamètre des spires: dans le spectre, elle croît fortement du rouge jusqu'aux environs de 530–540 $m\mu$, puis de là décroît vers le violet, où elle est cependant nettement plus grande que dans le rouge. Mais la vitesse de nage vraie du Rotifère (mesurée le long de sa trajectoire hélicoïdale) est seulement fonction de l'amplitude des battements des cils locomoteurs et croît du rouge au violet (fig. 5). Enfin, nous avons pu

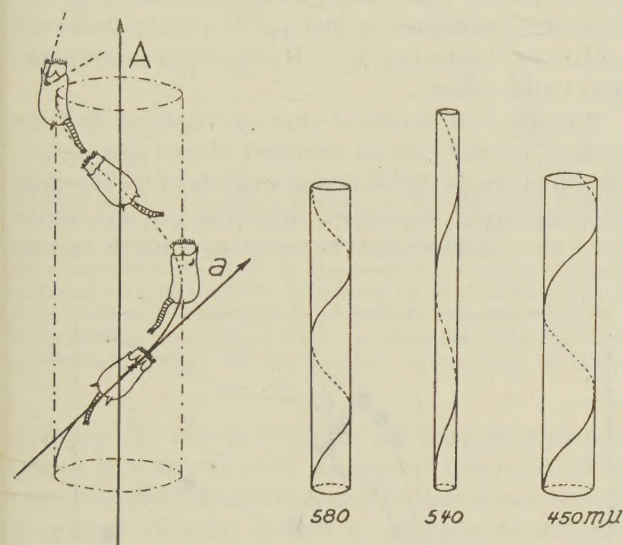


Fig. 5. Photokinèse et orientation phototropique chez *Brachionus pala*. — 1. Nage hélicoïdale du Brachion; A axe de nage ou axe de l'hélice; a axe longitudinal du corps du Brachion dont l'inclinaison sur l'axe A définit à chaque instant l'orientation de l'animal dans le champ lumineux (les rayons sont parallèles à l'axe A et de sens opposé). — 2. Trajectoires décrites par le même individu dans trois radiations différentes (580, 540 et 450 $m\mu$) dans des temps égaux (6 secondes). Remarquer l'allongement des spires dans la radiation 540 $m\mu$ et la vitesse réelle du Brachion (d'après la longueur du trajet hélicoïdal) qui est plus grande dans la radiation 450 $m\mu$ que dans les deux autres (G. VIAUD, 1940).

montrer aussi qu'un certain nombre de cellules ciliées très diverses (ciliature du pharynx de la Grenouille, du manteau des Lamellibranches) présentent le même type de sensibilité à la lumière que les cellules ciliées locomotrices des Rotifères et les mêmes réactions photokinétiques¹. De telles observations nous paraissent mettre bien en évidence les caractères de la sensibilité dermatoptique et son rôle principal dans le comportement phototropique.

Ainsi défini, le sens dermatoptique s'identifie, par ses caractères physico-chimiques, à la sensibilité photique du protoplasme quelconque, ou « incolore ». Mais il possède aussi des caractères proprement physiologiques qui en font un véritable sens, susceptible de diriger des réactions. En effet, il commande à des

mouvements déterminés, qui manifestent l'existence de liaisons sensori-motrices, celles qui forment la base du comportement phototropique: c'est la « photokinèse positive » des animaux inférieurs.

Un animal inférieur phototropique est excité sur une partie plus ou moins grande de la surface de son corps par la lumière qui le baigne; ces excitations multiples suffisent à déterminer des réactions locomotrices polarisées qui le font aller vers la source lumineuse. Par exemple, des Daphnies aveuglées expérimentalement (H. SCHULZ, 1928)¹ vont vers la lumière en décrivant des trajectoires plus ou moins compliquées parce que leurs mouvements de nage sont beaucoup plus rapides quand les rayons frappent directement la région antéro-ventrale de leur corps que lorsqu'ils atteignent directement toute autre région. Si l'animal possède des yeux, ceux-ci ne paraissent guère servir qu'à lui donner, de surcroît, une orientation axiale plus précise dans le champ lumineux. Ainsi, « la Daphnie maintient, grâce à son œil composé, sa direction vers la lumière, quand sa sensibilité dermatoptique la fait se mouvoir vers celle-ci » (G. VIAUD, 1938)².

Bref, l'essentiel du comportement phototropique des animaux inférieurs repose sur une fonction sensori-motrice fondamentale (photokinèse positive), liée à la photoréception dermatoptique; la photoréception visuelle ne joue dans ce comportement qu'un rôle secondaire³.

*

Le phototropisme et le phototactisme des Végétaux présentent les caractères essentiels du phototropisme animal: réactions d'orientation et de croissance ou même de locomotion (par exemple chez les Algues mobiles) déclenchées et entretenues par l'excitant lumineux. Elles sont d'autant plus amples et rapides que l'action de la lumière est plus forte, la grandeur de la réaction étant proportionnelle au logarithme de l'intensité lumineuse. Comme la plupart des animaux, les Végétaux présentent des alternances de phototropisme (ou de phototactisme) positif et de phototropisme négatif, si la lumière est suffisamment intense et si son action se prolonge assez longtemps. La manière dont le végétal supporte la lumière (photopathie) est donc le facteur déterminant du sens des réactions, comme chez l'animal.

Ces faits sont bien connus des physiologistes de la vie végétale. Mais il en est d'autres, d'acquisition récente,

¹ H. SCHULZ, Z. vergl. Physiol. 7, 488 (1928); p. 537 en particulier.

² G. VIAUD, op. cit., p. 155. — Voir aussi: Id., Le Phototropisme animal. Exposé critique des problèmes et des théories (Strasbourg-Paris 1938), p. 122 et suivantes.

³ Une partie des distinctions que nous faisons ici entre les deux modes de la photoréception a été vue par E. MERKER, Die Lichtempfindlichkeit und der Lichtsinn der Tiere, Naturwiss. 28 (1940), p. 623–628. — La « Lichtempfindlichkeit », c'est la sensibilité du protoplasme ou sensibilité dermatoptique, le « Lichtsinn », c'est le sens visuel. Nous pensons que la sensibilité dermatoptique n'est pas seulement une « Empfindlichkeit », mais qu'elle est aussi un « Sinn », c'est-à-dire donne un « sens » à des réactions.

¹ G. VIAUD, Bull. Biol. 77, 224 (1943).

sur lesquels l'attention n'a pas encore été suffisamment attirée; nous voulons parler de découvertes récentes sur la sensibilité phototropique des Végétaux aux radiations lumineuses monochromatiques. La comparaison de ces faits avec ceux que nous venons d'exposer touchant le phototropisme animal nous paraît être d'un grand intérêt.

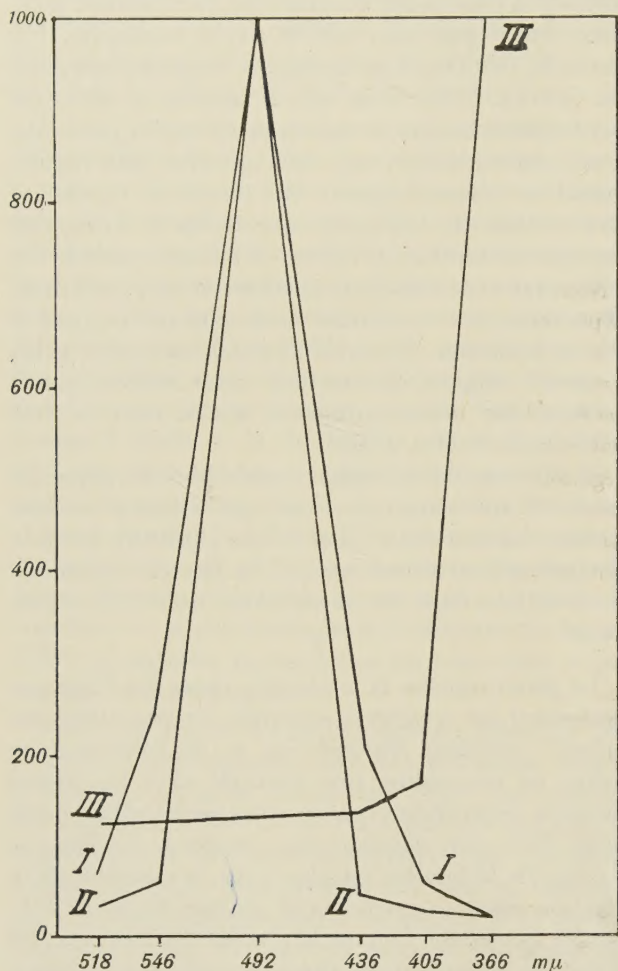


Fig. 6. Efficacité de l'action des radiations lumineuses sur les réactions phototactiques de Flagellés: I *Eudorina*, II *Volvox*, III *Chilomonas*. Efficacité symbolisée par des nombres proportionnels aux valeurs inverses des intensités des seuils nécessaires pour déclencher les réactions (A. LUNTZ, 1931).

On savait depuis longtemps que la sensibilité phototropique des Végétaux a un maximum situé dans le spectre aux environs de 500 mμ. BLAAUW l'avait montré pour les coléoptiles d'Avoine, S. O. MAST pour toute une série de Flagellés Verts, PRINGSHEIM pour les sporangiophores de *Phycomyces*¹, etc.

Mais les réactions phototropiques des Végétaux peuvent aussi mettre en évidence un autre type de sensibilité photique, qui n'atteint son maximum que dans l'extrême violet, et plus probablement même dans le proche ultra-violet, vers 365 mμ. Telle est la courbe

de la sensibilité phototactique de *Chilomonas* (Flagellé incolore) donnée par A. LUNTZ¹ en 1931, ou encore celle de la sensibilité phototropique des parties inférieures de la coléoptile de l'Avoine découverte par CH. HAIG² en 1934. LUNTZ, dans son travail, oppose le phototactisme des *Chilomonas* incolores à celui des Flagellés Verts *Euglena* et *Volvox* dont le maximum de sensibilité est aux environs de 490 mμ. De même HAIG oppose la sensibilité phototropique de la pointe des coléoptiles d'Avoine à celle de la partie des mêmes coléoptiles située presque immédiatement en dessous (à quelques millimètres seulement): la pointe des coléoptiles est surtout sensible aux radiations voisines de 480 mμ, tandis que les tissus situés au-dessous sont plus sensibles aux radiations de 400 mμ qu'à toutes les autres radiations visibles (fig. 7). — HAIG n'a pas expérimenté dans l'ultra-violet.

Il existe donc sûrement chez les Végétaux fixés ou mobiles, comme chez les Animaux, deux types de sensibilité photique qui se manifestent dans les réactions phototropiques: le premier caractérisé par une courbe qui a son maximum dans la partie moyenne du spectre

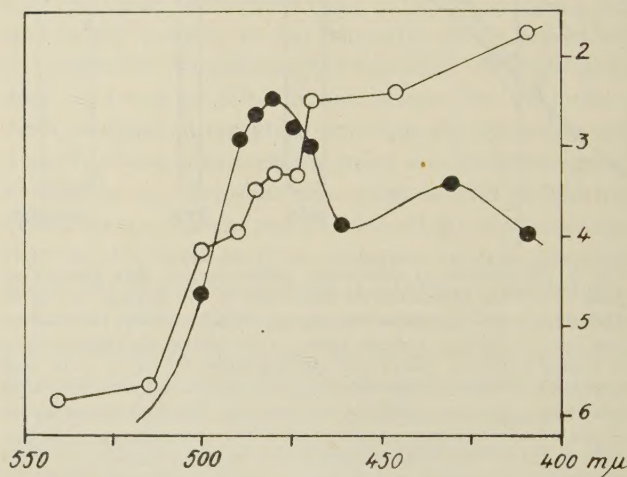


Fig. 7. Efficacité de l'action des radiations lumineuses sur les réactions phototropiques de la coléoptile d'Avoine. En cercles noirs, les réponses de la pointe de la coléoptile; en cercles blancs, celles de la base de la coléoptile. Efficacité symbolisée par les logarithmes de l'énergie relative nécessaire pour déclencher les réactions (CH. HAIG, 1934).

visible (mais dans des radiations plus courtes pour les Végétaux que pour les Animaux), le deuxième caractérisé par une autre courbe qui a son maximum probable vers 365 mμ dans le proche ultra-violet, comme pour les Animaux.

E. BÜNNING³, qui passe en revue en 1939 les travaux récents sur le phototropisme végétal, en tire les conclusions suivantes: la courbe de sensibilité du premier type (maximum vers 500 mμ) coïncide à peu près avec la courbe d'absorption des radiations par le carotène β,

¹ A. LUNTZ, Z. vergl. Physiol. 14, (1931); p. 85 en particulier.

² CH. HAIG, Proc. Nat. Acad. Sci. (U.S.A.) 20, 476 (1934).

³ E. BÜNNING, Physiologie des Wachstums und der Bewegungen (Berlin 1939), p. 175.

¹ Voir par exemple: E. NUERNBERGK, Phototropismus und Phototaxis bei Pflanzen, Hb. norm. u. pathol. Physiol. 12, 36 (1929).

pigment sensibilisateur qui semble bien être, pour les Végétaux, l'analogue du pourpre rétinien et des autres pigments caroténiques des photorécepteurs visuels des

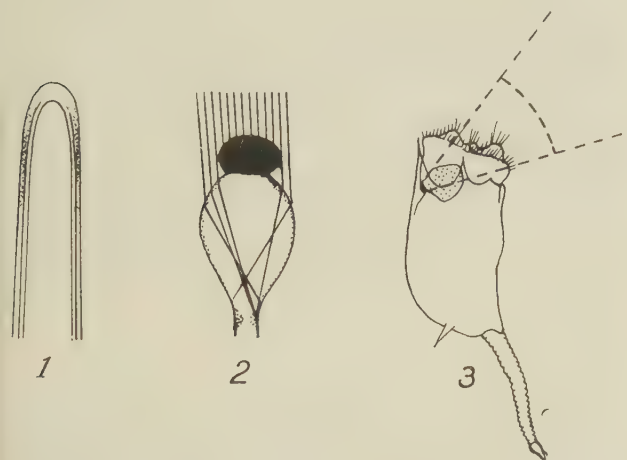


Fig. 8. «Yeux» rudimentaires. 1 «œil de carotène» de la coléoptile d'Avoine (en grisé); 2 «œil de carotène» du sporangiophore de *Pilobolus kleinii* (Mucorinées), avec indication de la marche des rayons lumineux atteignant le carotène; dans le sporangiophore, qui joue le rôle d'une lentille, les rayons se concentrent en certains points de la région du carotène (en grisé); le sporange (en noir) joue le rôle d'un écran opaque. (Ces deux dessins d'après E. BÜNNING, 1939.) — 3 ocellé cérébral de *Brachionus pala*, avec indication du champ visuel approximatif de cet «œil de direction» ou «de sens lumineux» (G. VIAUD).

Animaux. De fait, la coléoptile d'Avoine présente à sa pointe un véritable «œil», c'est-à-dire une région où se trouve localisée une forte concentration de carotène β ; de même, *Pilobolus* a, dans ses sporangiophores, des localisations de carotène β en des points particulièrement favorables à l'action directrice des rayons lumineux; il est vraisemblable que c'est le carotène β qui est le pigment sensibilisateur du stigma des Flagellés Verts, etc. Quant à la courbe du deuxième type (maximum vers 365 m μ), elle ne peut être, dit BÜNNING, que celle du protoplasme incolore, non-différencié quant à la photoréception.

Il y a donc chez les Végétaux une sensibilité primitive du protoplasme à la lumière qui se manifeste par des réactions phototropiques. A cette sensibilité protoplasmique vient s'ajouter, chez beaucoup de Végétaux, mais non chez tous, la sensibilité plus fine et plus précise des localisa-

tions chargées de carotène β . Le plus souvent les réactions tropiques des Végétaux à la lumière sont la résultante des réactions partielles de croissance ou de locomotion et d'orientation dues aux excitations du protoplasme incolore et des «yeux de carotène».

Ainsi les recherches expérimentales sur le phototropisme végétal et le phototropisme animal en lumières monochromatiques ont abouti à des conclusions presque identiques touchant la nature des organes récepteurs en jeu et leurs fonctions «sensori-motrices». Il semble bien que le protoplasme possède partout, chez les êtres inférieurs au moins, Animaux et Végétaux, la même fonction phototropique primitive; à cette photoréception fondamentale, vient s'ajouter, chez les Végétaux, la photoréception des «yeux de carotène» et chez les Animaux la photoréception visuelle (fig. 8).

Nous pouvons alors esquisser l'évolution générale de la photoréception de la manière suivante: a) photoréception protoplasmique primitive, à laquelle est liée comme fonction sensori-motrice la photokinèse positive¹ (sensibilité de type dermatoptique chez les Animaux, sensibilité du protoplasme incolore chez les Végétaux); b) photoréception par récepteurs plus ou moins différenciés, chargés de pigments sensibilisateurs (carotène β des Végétaux, pigments d'origine caroténique chez les Animaux), ayant surtout, au moins

¹ Nous assimilons ici volontairement la courbure phototropique positive des Plantes et la photokinèse positive des Végétaux mobiles et des Animaux. Ce sont des réactions tout à fait semblables, en effet, par leurs aspects cinétiques, sauf un, qui tient à ce que la première est le fait d'organismes fixés et la seconde le fait d'organismes libres: elles obéissent l'une et l'autre aux mêmes lois générales, comme il a été dit plus haut.

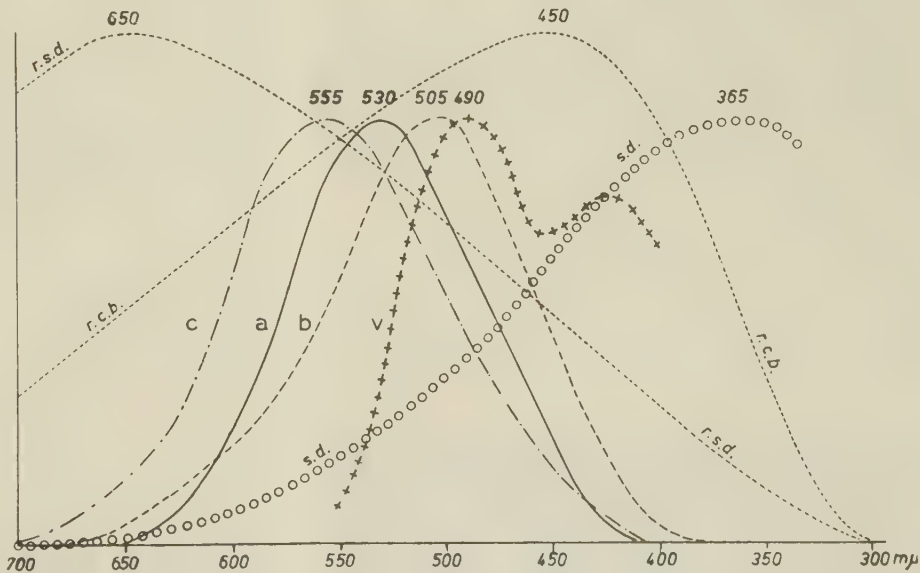


Fig. 9. Evolution de la photoréception — s.d. courbe de la sensibilité dermatoptique composée d'après les données de plusieurs auteurs (V. GRABER, A. LUNTZ, CH. HAIG, L. M. BERTHOLF et G. VIAUD); a courbe de la sensibilité visuelle chez beaucoup d'Inférieurs (d'après C. VON HESS, G. VIAUD et de nombreux auteurs); b courbe de la sensibilité des bâtonnets rétiens de l'Homme; c courbe de la sensibilité des cônes rétiens de l'Homme; v courbe de la sensibilité de l'«œil de carotène» de l'Avoine (CH. HAIG); r.s.d. courbe de l'intensité du rayonnement solaire direct (empruntée à F. VLÈS); r.c.b. courbe de l'intensité du rayonnement du ciel bleu (F. VLÈS).

chez les Animaux inférieurs, une fonction d'orientation axiale dans le comportement phototropique. Il n'est pas douteux qu'il y ait eu un progrès dans le passage de l'un à l'autre de ces deux modes de photoréception, progrès marqué par une meilleure utilisation de l'énergie solaire: en effet, les rayons solaires qui transportent le plus d'énergie ont des longueurs d'onde voisines de $650\text{ m}\mu$ (lumière solaire directe) et de $450\text{ m}\mu$ (lumière diffusée par le ciel bleu); le progrès de la photoréception a consisté dans un déplacement du maximum de sensibilité des récepteurs, de la région ultra-violet à la région moyenne du spectre visible, laquelle est encadrée par les radiations groupées autour des λ 650 et $450\text{ m}\mu$ (fig. 9).

Du point de vue de la biologie générale, il nous paraît intéressant de souligner quelques caractères de cette évolution (en dehors du caractère adaptatif déjà signalé):

1^o Il est manifeste qu'elle ne s'est pas faite d'une manière continue. Au moment où la sensibilité de type visuel est née, les substances photosensibles qui la caractérisent ont déplacé brusquement et considérablement vers la région moyenne du spectre visible le maximum d'absorption de la lumière.

2^o Ces substances photosensibles spéciales ne se sont pas distribuées n'importe où dans l'organisme, mais elles se sont concentrées en des points déterminés (pointe de la coléoptile, ocelle céphalique, etc.) qui jouent un rôle particulièrement important dans l'orientation à la lumière. Autrement dit, non seulement il y a eu apparition brusque de propriétés nouvelles, mais apparition simultanée de propriétés complémentaires, morphologiques et physiologiques.

3^o Cette évolution s'est produite parallèlement dans le règne animal et dans le règne végétal et a abouti à des résultats que l'on jugera presque identiques si l'on se borne à les considérer sous leurs aspects fondamentaux, tels qu'ils apparaissent dans les réactions phototropiques.

C'est pourquoi nous tenons à insister, en terminant, sur l'hypothèse géniale de l'identité foncière du phototropisme animal et du phototropisme végétal, soutenue par J. LOEB dès 1890 dans son ouvrage: *Der Heliotropismus der Thiere und seine Übereinstimmung mit dem Heliotropismus der Pflanzen*. Nous voyons aujourd'hui que cette identité repose principalement sur l'existence d'une fonction sensori-motrice primitive, la photokinèse positive, liée au protoplasme même, qui polarise les organismes et les porte vers la lumière; secondairement, sur l'existence de dispositifs d'orientation plus perfectionnés, assez analogues morphologiquement de part et d'autre et utilisant à peu près les mêmes substances photosensibles.

Zusammenfassung

Der tierische Phototropismus hängt bekanntlich weitgehend von der Wellenlänge des beeinflussenden Lichts ab. Wie der Verfasser nachweist, sind vier Haupttypen der Wirksamkeitskurven monochromatischer Strahlen zu unterscheiden. Diese zeigen, daß es zwei grundsätzlich verschiedene Arten der Lichtrezeption bei Tieren gibt: 1. die «visuelle» Photorezeption und 2. die «dermatoptische» Photorezeption. Die erstere ist auf Photorezeptoren zurückzuführen, die spezielle Substanzen mit einer maximalen Absorption zwischen etwa 500 und $550\text{ m}\mu$ besitzen (Beispiel: Sehpurpur). Die letztere beruht auf der Lichtempfindlichkeit des undifferenzierten und farblosen Protoplasmas, das vor allem auf die ultravioletten Strahlen von etwa $360\text{ m}\mu$ reagiert. Die «visuelle» Photorezeption kommt hauptsächlich für die genaue phototropische Orientierung in Betracht. Die «dermatoptische» Lichtrezeption ist vor allem für die «positive Photokinesis», d.h. für die lokomotorischen Bewegungen nach dem Licht bestimmend. — Bei den Pflanzen gibt es, nach neuen Arbeiten, ebenfalls zwei Arten der Photorezeption: Lichtrezeption durch lokalisierte mit β -Carotin beladene Rezeptoren, und ferner eine Photorezeption des farblosen Protoplasmas bei Pflanzen. Der Verfasser erörtert den möglichen Fortschritt in der Entwicklung der Photorezeption: von der primitiven photosensoriellen Funktion des Protoplasmas (bei Pflanze und Tier) bis zur Sehfunktion der Tiere und bis zur besonderen Orientierungsfunktion der mit Carotin versehenen Organe der Pflanzen.

Die modernen Methoden und Ergebnisse der Geophysik

Von A. PREY¹, Wien

Die Aufgabe der Geophysik besteht darin, die physikalischen Eigenschaften der Erde, wie z. B. ihre Dichte, Temperatur, Elastizität, Viskosität, aus jenen Größen zu bestimmen, die wir an der Erdoberfläche oder in der Nähe derselben als Ausfluß von ihren inneren Eigenschaften beobachten können, mit anderen Worten, die Eigenschaften des Stoffes, aus welchem die Erde besteht, festzustellen, auf Grund deren wir die Erschei-

nungen, die wir an der Erdoberfläche beobachten, erklären. Dabei wollen wir zunächst festsetzen, daß die Erde möglichst einfach aufgebaut ist und daß ihre Massen konzentrisch geschichtet sind. Erst später wollen wir daran gehen, soweit es möglich ist, Einzelheiten über den Bau der Erde abzuleiten.

Die erste Erscheinung, die wir an der Erdoberfläche beobachten und die ihren Grund in den Verhältnissen in der Tiefe der Erde haben, ist ihre Figur, dann die Schwereerscheinungen, aber auch die Fortpflanzungs-

¹ Universität Wien.

geschwindigkeit der Erdbebenwellen, welche ihren Weg durch den Erdkörper nehmen, die Erscheinung der Gezeiten, die Bewegungen, die wir am Horizontalpendel beobachten usw.

Die Bestimmung der Abplattung aus Gradmessungen ist eine rein geometrische Angelegenheit der Geodäsie, die zu ihrer Durchführung gar keine Voraussetzung über die Konstitution der Erde nötig hat. Sie gehört also nur indirekt zur Geophysik und soll deswegen in diesem Aufsatz nicht behandelt werden. Wichtig ist für die Geophysik nur das Ergebnis, daß die Abplattung einen Wert hat, der uns berechtigt, die Erde wie eine Flüssigkeit zu behandeln.

Bestimmung der Abplattung aus Schweremessungen

Wenn wir zunächst bei der Näherung einer einfachen rotationssymmetrischen Fläche bleiben, gelingt die Bestimmung der Abplattung auf Grund des CLAIRAUTschen Theorems. Die Möglichkeit, die Abplattung der Erde aus Schwerebeobachtungen zu bestimmen, beruht auf der Potentialtheorie und speziell auf den GREENschen Sätzen¹. Potential ist ein physikalischer Begriff und bedeutet einen mathematischen Ausdruck, der, nach einer der darin enthaltenen Koordinaten differenziert, die in die Richtung dieser Koordinate fallende Kraft liefert. Er hat die Eigenschaft, daß die Kraft in jedem der Punkte auf der durch das Potential dargestellten Fläche senkrecht steht. Es gibt also keine Komponente, die in die Fläche selbst fällt; daher kann auch die freie Oberfläche einer Flüssigkeit nur mit einer solchen Potential- oder Niveaufläche zusammenfallen. Wir können daher auch sagen, die Kraft ist die Änderung des Potentials in irgendeiner Richtung, oder die Kraft ist identisch mit dem Potentialgefälle. Eine Fläche, die alle Punkte gleichen Potentials enthält, wird als Potentialfläche oder Niveaufläche bezeichnet. Die Sätze von GREEN (speziell der zweite kommt für uns in Betracht) sagen aus: Ist eine Fläche S gegeben, welche alle in diesem Raum enthaltenen Massen einschließt, und ist für alle Punkte dieser Fläche der Wert der Kraft gegeben, das ist also die Änderung des Potentials in der Richtung der Normalen, so läßt sich aus diesen Größen der Verlauf des Potentials im ganzen äußeren Raume und daher auf sämtlichen Niveauflächen berechnen. Setzen wir

$$\begin{aligned} a &= \frac{\omega^2 a^3}{2k^2 M} + \frac{3(C-A)}{2a^2 M}, \\ b &= \frac{2\omega^2 a^3}{L^2 M} - \frac{3(C-A)}{2a^2 M}, \end{aligned} \quad (1)$$

wo a den Erdradius, M die Erdmasse, k die Gravitationskonstante, C das Trägheitsmoment der Erde bei der Rotation um die Polarachse, A dagegen bei der Rotation um einen Äquatordurchmesser bedeutet und

ω die Rotationsgeschwindigkeit der Erde ist, so lautet das CLAIRAUTsche Theorem

$$a + b = \frac{5}{2} c. \quad (2)$$

Die beiden Größen a und b werden also von der inneren Schichtung der Erde, die in C und A steckt, in gleicher, aber entgegengesetzter Weise beeinflusst, und aus $a + b$ fällt sie also heraus. Was die Bedeutung der einzelnen Größen betrifft, so ergibt sich aus der Theorie für den Radiusvektor $r = a(1 - a \sin^2 \varphi)$ und für die Schwere $g = g_0(1 + b \sin^2 \varphi)$, wo g die Schwere im Äquator und a die Abplattung ist. Denn es ist

$$\begin{aligned} r_{90} &= a(1 - a) = c, \\ r_0 &= a, \\ \text{also } a &= \frac{a-c}{a}. \end{aligned} \quad (3)$$

Dagegen charakterisiert b die Änderung der Schwere vom Pol zum Äquator, denn es ist

$$\begin{aligned} \text{für den Pol } g_{90} &= g_a(1 + b), \quad b = \frac{g_{90} - g_a}{g_a}, \\ \text{für den Äquator } g_0 &= g_a, \end{aligned} \quad (4)$$

c können wir in der Form schreiben:

$$\frac{\omega^2 a}{k^2 M} = \frac{\omega^2 a}{g} = \frac{\text{Fliehkraft am Äquator}}{\text{Schwere}}, \quad (5)$$

eine sehr wichtige Größe, die in den Untersuchungen über den Bau der Erde eine große Rolle spielt, aber als hinlänglich bekannt gelten kann. Wir sehen also, daß in (2) lauter Größen vorkommen, die an der Oberfläche beobachtet werden können. Darin liegt die Auswirkung des GREENschen Satzes. Das CLAIRAUTsche Theorem gilt für Rotationskörper von naher Kugelform; über die Massenlagerung im Innern ist keine Voraussetzung gemacht, als daß sie rotationssymmetrisch sein muß.

Bestimmung der mittleren Dichte der Erde

Aus den Schwerebestimmungen erhält man als erste Größe für die Erde ihre mittlere Dichte. Bezeichnen wir diese mit ϑ_m , so ist

$$M = \frac{4\pi}{3} \vartheta_m a^3 c = \frac{4\pi}{3} \vartheta_m a^3 (1 - a). \quad (6)$$

Die Größe a erhält man aus den Gradmessungen, die Größen g und b findet man aus den Schwerebeobachtungen. Es ist dann in der obigen Gleichung nur noch eine Unbekannte, nämlich $k^2 M$. Die Größe M , die Masse der Erde, kann nur aus genauen astronomischen Rechnungen (Störungsrechnungen) bestimmt werden. So erkennt man, daß die Bestimmung der mittleren Dichte eigentlich auf die Bestimmung der Gravitationskonstante hinausläuft. Dazu stehen nun verschiedene Methoden zur Verfügung:

¹ F. TISSERAND, *Mécanique céleste* (1891), t. II., Ch. 3 – R. HELMERT, *Die math. u. physik. Theorien* (1884), Bd. 2, Kap. I.

1. MASKELYNE¹ beobachtet die Ablenkung des Lotes durch isolierte Berge, also Massen, die einfach berechnet werden können. Er verwendet den 3561 Fuß hohen Berg Shehallian in Schottland; PRESTON² verwendet die Vulkankegel Haleakala und Mauna Kea auf den Hawaii-Inseln.

2. CAVENDISH³ verwendet die Drehwaage,

3. JOLLY, POYNTING, RICHARZ und KRIGAR-MENZEL⁴ verwenden die gewöhnliche Waage,

4. WILSING⁵ das gewöhnliche Pendel und

5. AIRY, STERNECK⁶ die Beobachtungen in Bergwerken.

Als Durchschnitt aus allen diesen Untersuchungen nimmt man heute 5,52⁷.

Die zweite Größe, die sich mit Hilfe des CLAIRAUTschen Theorems bestimmen läßt, ist die Dichtezunahme gegen das Innere. Die Möglichkeit dieser Bestimmung haben wir schon auf S. 89 erörtert, wo sich ergeben hat, daß die Fliehkraft und damit die Abplattung von der Massenverteilung abhängig ist. Es ist klar, daß sich die größtmögliche Abplattung für eine homogene Erde ergeben muß, denn den Fall, daß die Massendichte nach außen zunimmt, müssen wir aus physikalischen Gründen ganz ablehnen.

Bezeichnen wir die Komponenten der Anziehung auf einen Punkt mit den Koordinaten x, y, z auf der Oberfläche der Erde mit P_x, Q_y, R_z und die Rotationsgeschwindigkeit mit ω , so lautet die Gleichgewichtsbedingung

$$(P - \omega^2) a^2 = (Q - \omega^2) b^2 - Rc^2.$$

Nehmen wir ferner von vornherein an, daß die Erde ein Rotationsellipsoid ist, so ist $a = b$ und $P = Q$. Wir setzen ferner $\lambda^2 = \frac{a^2 - b^2}{c^2}$ und begnügen uns mit Größen von der Ordnung λ^2 , einer Größe, die sich von der Abplattung nur um Größen zweiter Ordnung unterscheidet, so wird

$$\begin{aligned} P &= \frac{4\pi k' \vartheta_m}{3} \left(1 - \frac{\lambda^2}{5}\right) \\ R &= \frac{4\pi k' \vartheta_m}{3} \left(1 + \frac{2\lambda^2}{5}\right), \end{aligned} \quad (8)$$

dann ist die Bedingungsgleichung für das Gleichgewicht

$$\begin{aligned} &\left[\frac{4\pi k^2 \vartheta_m}{3} \left(1 - \frac{\lambda^2}{5}\right) - \omega^2 \right] (1 + \lambda^2) = \\ &= \left[\frac{4\pi k^2 \vartheta_m}{3} \left(1 + \frac{2\lambda^2}{5}\right) \right] c, \end{aligned} \quad (9)$$

oder immer mit der gleichen Genauigkeit

$$\frac{2\lambda^2}{5} = \frac{3\omega^2}{4\pi k^2 \vartheta_m}. \quad (10)$$

Die Schwere ist gegeben durch

$$g = \frac{k^2 M}{r^2} = \frac{4\pi k^2 \vartheta_m}{3} c,$$

oder

$$4\pi k^2 = \frac{g}{c} \cdot \frac{3}{\vartheta_m}.$$

Es wird also

$$\frac{2\lambda^2}{5} = \frac{\omega^2 c}{g},$$

das ist nichts anderes als die oben mit c bezeichnete Größe, das Verhältnis der Fliehkraft zur Schwere = 1/289, also $\lambda^2 = \frac{5c}{2}$. Es ist also

$$a = \frac{a \cdot c}{a} = \frac{c \sqrt{1 + \lambda^2 - c}}{c \sqrt{1 + \lambda^2}} = \frac{\lambda^2}{2}$$

und daher auch

$$a = \frac{5c}{4} = \frac{5}{4} \cdot \frac{1}{289} = \frac{1}{232}. \quad (11)$$

1/232 ist der Wert der Abplattung für die homogene Erde. Es gibt also keine Massenverteilung mit gegen das Innere zunehmender Dichte, die auf eine größere Abplattung führte als 1/232. Der entgegengesetzte Grenzfall ist der, daß die gesamte Masse im Zentrum vereinigt ist; es ist dann die Anziehung dieselbe wie bei punktförmiger Masse.

$$P_x = \frac{k^2 M}{r^2} \cdot \frac{x}{r}, \quad Q_y = \frac{k^2 M}{r^2} \cdot \frac{y}{r}, \quad R_z = \frac{k^2 M}{r^2} \cdot \frac{z}{r} \quad (12)$$

und die Gleichgewichtsbedingung lautet

$$a^2 (P - \omega^2) = c^2 R \text{ oder } (1 + \lambda^2) \left(\frac{k^2 M}{r^2} - \omega^2 \right) = \frac{k^2 M}{r^3}.$$

$$\text{Dies führt auf } \lambda^2 = \frac{\omega^2 a^3}{k^2 M} = c \text{ und } a = c = \frac{1}{578}. \quad (13)$$

Es ist also 1/578. In der Tat ergeben die Beobachtungen den Wert 1/300, der dieser Ungleichung Genüge leistet. Wir müssen also versuchen, ein Gesetz der Dichtezunahme zu finden, für welches die Abplattung den beobachteten Wert 1/300 gibt. Dazu muß noch eine Anzahl von Bedingungen erfüllt sein.

1. Das hydrostatische Gleichgewicht. Wir können uns über die Dichtezunahme im Erdinnern verschiedene Vorstellungen machen; wir können annehmen, daß die Dichte kontinuierlich zunimmt, oder auch daß die Zunahme sprunghaft erfolgt, in jedem Falle wird aber im Innern überall das hydrostatische Gleichgewicht herrschen; es müssen also bei kontinuierlicher Zunahme überall die Niveauflächen mit den Flächen

¹ M. MASKELYNE, Phil. Trans. (1775).

² E. D. PRESTON, Phil. Soc. Wash. Bulletin, vol. XII.

³ H. CAVENDISH, Phil. Trans. (1798). — REICH, FREIBERG, ib. (1838). — BAILY, Mem. of astron. Soc. 14 (1843). — A. CORNU und I. B. BAILLE, C. r. 76. — C. BRAUN, Denkschriften der Akad. Wiss. Wien 64 (1847). — C. V. BOYS, Phil. Trans. Ser. A, 186. — R. v. EÖTVÖS, Wiedemanns Ann. Physik 59.

⁴ PH. JOLLY, Wiedemanns Ann. Physik 5 und 14. — J. H. POYNTING, Phil. Trans., Ser. A 182. — F. RICHARZ und O. KRIGAR-MENZEL, Sitzungsber. Preuß. Akad. Wiss. 48 (1896).

⁵ J. WILSING, Sitzungsber. Preuß. Akad. Wiss. (1885) und (1887).

⁶ G. AIRY, Phil. Trans. (1856). — R. v. STERNECK, Mitt. militärgeograph. Inst. Wien 2 (1882), 3 (1883) und 6 (1886).

⁷ W. TRABERT, Lehrbuch der kosmischen Physik (1911), p. 264.

gleicher Dichte zusammenfallen. Bei sprunghafter Zunahme muß dasselbe für die Grenzflächen gelten. Es muß also die Bedingung (9) für innen und für die Grenzflächen bei derselben Rotationsgeschwindigkeit erfüllt sein.

Gehen wir zunächst von kontinuierlicher Dichtezunahme aus, so müssen wir ϑ , die Dichte, als Funktion von c voraussetzen, wo c den Radius der Schichten repräsentiert, ebenso auch $k = \frac{a-c}{c}$ als Funktion von c ; so gilt hierfür die sogenannte CLAIRAUTSche Differentialgleichung (16), deren Integration k als Funktion von c ergibt, d. h. die Änderung der Abplattung der Schichten mit der Entfernung von der Mitte. Weitere Bedingungen, die durch Wahl der Integrationskonstanten erfüllt werden müssen, sind¹:

2. Es muß die mittlere Dichte der Erde $\vartheta_m = 5,52$ herauskommen.

3. Für die Dichte an der Erdoberfläche nimmt man meistens den Wert 2,7. Bei sprunghafter Dichteänderung tritt an die Stelle der Oberflächendichte die Dichte des Mantels, die natürlich größer genommen werden muß. Am besten scheint der Wert $\vartheta = 3,4$ zu entsprechen.

4. Die Abplattung der Erdoberfläche muß einen Wert von etwa $1/300$ erhalten.

5. Die Änderung der Schwere vom Pol bis zum Äquator muß ebenfalls den Beobachtungen entsprechen. Dazu werden am besten die Gleichungen (1) und (2) verwendet, und diese geben

$$\frac{C-A}{M} = \frac{2}{3} a^2 \left(K_0 - \frac{c}{2} \right). \quad (15)$$

6. Gewisse von der Abplattung der Erde abhängige Glieder in der Mondbewegung müssen richtig herauskommen.

7. Die Präzession muß ebenfalls mit dem richtigen Werte herauskommen (17). Während die beiden Größen (5) und (6) $\frac{C-A}{a}$ enthalten, welche direkt mit der Abplattung zusammenhängen, hängt die Präzession von $\frac{C-A}{C}$ ab. Das ist eine neue Bedingung. Es zeigt sich, daß ein Dichtegesetz, welches auf die richtige Abplattung führt, immer die Mondbewegung richtig wiedergibt, näherungsweise auch die richtige Präzession liefert. Resultate:

a) Kontinuierliche Schichtung. Die einzelnen Versuche, die gemacht wurden um die Dichtezunahme im Innern der Erde zu bestimmen, unterscheiden sich durch die analytische Form, welche für das Dichtegesetz angenommen wurde. Die wichtigsten seien im folgenden zusammengestellt:

LEGENDRE $\vartheta = g \frac{\sin mc}{c}$ (2), $g=4,48$, $m=145$, $\vartheta_c=11,34$

ROCHE $\vartheta = \vartheta_c (1 - kc^2)$ (1), $k=0,764$, $\vartheta_c=10,10$

LIPSCHITZ $\vartheta = \vartheta_c (1 - kc^2)$ (2), $k=0,736$, $\lambda=2,39$, $\vartheta_c=4,453$

HELMERT $\vartheta = \vartheta_c \left[1 + d_1 \left(\frac{c}{c_0} \right)^2 + d_2 \left(\frac{c}{c_0} \right)^4 \right]$ (3), $d_1=1,04$, $d_2=0,271$, $\vartheta_c=11,3$

ÖKINGHAUS $\vartheta = \vartheta_c e^{-kx^2}$ (4), $k=1,707$ bis $1,4$, $\vartheta_c=1,378$ bis $10,370$.

Die Formel von LEGENDRE entspricht dem von LAPLACE aufgestellten Gesetze, nach welchem die Änderung der Dichte mit der Tiefe nur von dem steigenden Druck der darüber lagernden Massen herrührt, wobei die Kompressibilität um so kleiner wird, je stärker die Massen schon komprimiert sind. Die Formel von ROCHE ist nur eine Weiterführung des LAPLACESchen Gedankens auf Grund eines durch ein quadratisches Glied erweiterten Gesetzes für die Kompressibilität. Man kann auch den Koeffizienten der Kompressibilität herausrechnen und findet ihn in beiden Fällen von der Größenordnung wie bei Quecksilber. HELMERT setzt die Dichte in Form einer Potenzreihe an, während ÖKINGHAUS von der Barometerformel ausgeht. Als Resultat ergibt sich aus allen diesen Untersuchungen, daß die Dichte im Erdmittelpunkt etwa 10–12 sein dürfte.

b) Sprunghafter Dichtezunahme. Die Untersuchung über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen hat es wahrscheinlich gemacht, daß die Dichte in der Erde nicht kontinuierlich verläuft, sondern sich sprunghaft ändert. Da man sich auf 2–3 Unstetigkeiten in der Dichte beschränkt, so läßt sich die Aufgabe noch meistern. Zur Annahme einer größeren Anzahl von Schichten fehlt vorläufig noch jeder Anhaltspunkt. Die ersten erfolgreichen Untersuchungen in dieser Hinsicht verdanken wir WIECHERT⁵.

WIECHERT stellt sich die Erde vor bestehend aus einem homogenen Kern, bedeckt mit einer ebenfalls homogenen Rinde von der Dichte 3,0–3,4 und sucht die Dichte des Kerns sowie die Lage der Trennungsfläche zu bestimmen, unter Berücksichtigung der oben zusammengestellten Bedingungen. Als Resultat ergibt sich für die Dichte des Kerns 8,2. Der Kern reicht bis etwa $\frac{3}{4}$ des Radius. Seine Dichte liegt etwas über der Dichte des Eisens, so daß die Annahme berechtigt erscheint, daß der Kern der Erde aus Eisen besteht, dessen Dichte unter dem großen Druck etwas gesteigert ist.

KLUSSMANN⁶ hat diese Untersuchungen weitergeführt, es werden nunmehr drei Schichten verschiedener Dichte angenommen, deren Lage aber durch die Erdbebenbeobachtungen als gegeben betrachtet wird, im Gegensatz zu WIECHERT, der die Lage der Grenzfläche

¹ F. TISSERAND, l. c., p. 241.

² R. LIPSCHITZ, J. reine u. angew. Math. 62 (1861).

³ R. HELMERT, l. c. p., 487.

⁴ E. W. ÖKINGHAUS, Arch. Math. u. Physik, 13 (1895).

⁵ E. WIECHERT, Gött. Nachr. (1897).

⁶ W. KLUSSMANN, Geol. Beitr., 14 (1915).

¹ A. PREY – C. MAINKA, Einführung in die Geophysik, p. 156 ff.

² F. TISSERAND, l. c., p. 232.

erst aus den Beobachtungen berechnet. Die Grenzflächen werden in den Tiefen 1193 km und 2454 km vorausgesetzt. Für die Dichte des Mantels werden verschiedene Annahmen gemacht (3,0, 3,2, 3,4, 3,6), endlich aber 3,4 bevorzugt. Für den Kern ergibt sich als Material: Eisen, Nickel und Kobalt mit einer Dichte von 7,8 bis 8,9, für die Mittelschicht Eisenerz mit einer Dichte von etwa 5,5.

Auf die interessante und in letzter Zeit viel diskutierte Theorie von KUHN und RITTMANN, welche gegen das diskontinuierliche Modell WIECHERTS mit dem Eisenkern aufgestellt worden ist und einen im wesentlichen homogenen Aufbau des Erdinnern verlangt¹, kann in diesem Zusammenhang nicht eingegangen werden.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen

Eine wesentliche Stütze und Bekräftigung finden diese Untersuchungen, wie wir sehen, in den Ergebnissen der Erdbebenforschung. Die Lehre von den Erdbeben (Seismologie) umfaßt zwei vollständig voneinander verschiedene Wissenschaften, die man auch als Makroseismik und Mikrozeismik bezeichnet. Die erste ist eine geologische Wissenschaft und befaßt sich mit jenen Veränderungen im Innern der Erde, welche zur Entstehung von Erdbeben führen (Einsturzbeben, Ausbruchbeben, tektonische Beben) und den Einfluß dieser Erscheinungen auf die Erdoberfläche, die sich bekanntlich als Katastrophen ungeheuren Ausmaßes (Einstürzen von vielen Gebäuden und Untergang von vielen Tausend Personen) ausdrücken. Für unseren

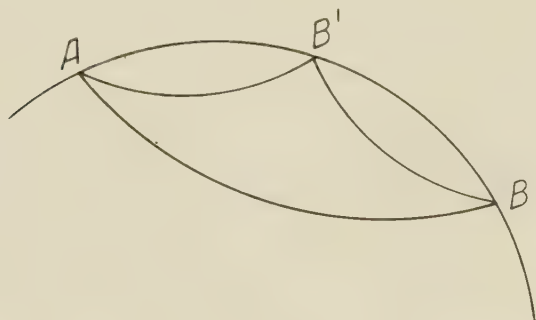


Abb. 1.

Zweck kommt nur der zweite Teil in Frage, der sich mit der Ausbreitung von Schütterbewegungen der Erdkruste, auch von ganz kleinen, kaum mehr gefühlten, befaßt, die aber unsere feinen Instrumente noch in vielen Tausend Kilometer Entfernung vom Ausgangspunkt des Bebens fühlen. Die in den Erdbebenzentren erzeugten Wellen pflanzen sich durch den Erdkörper oder auch an seiner Oberfläche fort und ihr Eintreffen sowie auch die Winkel, unter welchen sie im Endpunkt einlangen, können gemessen werden, und aus diesen Daten können wir dann Schlüsse ziehen über die

Raschheit, mit der sich diese Wellen im Erdkörper fortpflanzen, und daraus können wir wieder auf die Eigenschaften des Gesteins schließen, welches die Welle durchlaufen hat.

Gleich von Anfang an müssen wir zweierlei Wellen in den vom Zentrum ausgehenden Wellen unterscheiden, longitudinale und transversale. Die longitudinalen schwingen in der Richtung der Fortpflanzung, die transversalen senkrecht dazu. Haben wir den einfachen Fall, daß in der Erde keine Dichtesprünge vorkommen,

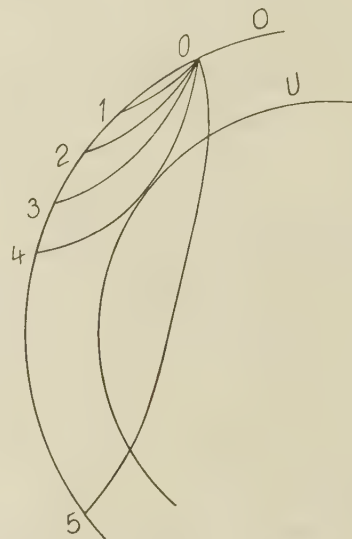


Abb. 2.

daß die Erde also aus Material besteht, dessen Dichte nach einem einfachen Gesetz nach innen zunimmt, so wird die Welle nach den bekannten Gesetzen immer von dem Lot weggebrochen, und der Weg des Wellenstrahles hat die Form, wie sie Abb. 1 zeigt. Von dem Punkt, wo der Wellenstrahl seine tiefste Stelle hat, ist die Form des Weges symmetrisch.

Da die zwei Wellenzüge (der longitudinale und der transversale) verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben, so treffen sie in den Beobachtungsorten zu verschiedenen Zeiten ein. Es gibt aber auch Wellen, die sich längs der Oberfläche fortpflanzen, die den Namen Rayleighwellen führen. Auch diese trennen sich in longitudinale und transversale Wellen. Da aber die Wellen die Eigenschaften besitzen, an Trennungsfächen verschiedener Mittel gebrochen oder reflektiert zu werden, so erreichen die Wellen die Beobachtungsorte auch auf anderen Wegen, indem die Welle in A' den Erdboden erreicht, hier reflektiert wird und dann in A zum zweiten Mal die Erdoberfläche erreicht, ein Vorgang, der sich auch mehrmals wiederholen kann. Wenn aber die Erde schichtweise zusammengesetzt ist, so daß es Trennungsfächen gibt, die deutliche Dichtesprünge bedeuten, so entstehen auch an solchen Stellen neue Wellen und zwar vier verschiedene Gattungen, nämlich reflektierte und gebrochene, longitudinale und transversale Wellen.

¹ W. KUHN, Exper. 2, 391 (1946).

Es sei in Abb. 2 der große Kreis die Erdoberfläche, der kleine Kreis die Trennungsfäche gegen den Mantel. Vom scheinbaren Ausgangspunkt auf der Erdoberfläche (Epizentrum) gehen die Wellenstrahlen je nach der Anfangsrichtung aus und erreichen die Punkte 1, 2 usw. der Oberfläche. Der Strahl *O 4* berührt in *M* die Mantelkugel und geht von hier symmetrisch bis 4. Der nächste (*O 5*) Strahl muß die Trennungsfäche passieren und wird dabei gebrochen und reflektiert. Dadurch entsteht eine Änderung in der Aufeinanderfolge der Treffpunkte, die auf der Oberfläche das Vorhanden-

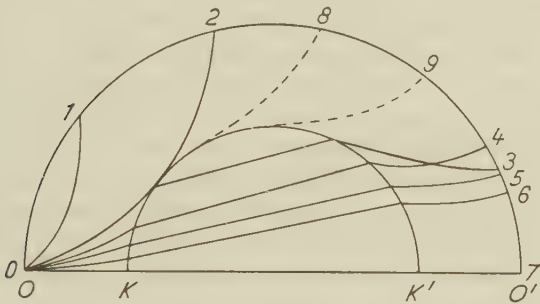


Abb. 3.

sein einer Trennungsfäche erkennen läßt. Da dabei die Treffpunkte der Oberfläche wieder zurückrichten, so entsteht eine Art Brennpunkt, der natürlich aus der größeren Erdbewegung erkannt wird. Abb. 3 gibt eine Andeutung über die Bahnen der *P*-Wellen, die den Weg durch den Erdkörper nehmen. Da nun in dem Seismogramm alle Wellengattungen auftauchen werden, so ist es klar, daß ein solches Seismogramm sehr schwer zu lesen sein wird und daß eine große Übung dazu gehört, die einzelnen Einsätze zu erkennen. Als ein besonders bemerkenswertes Resultat muß erwähnt werden, daß Transversalwellen, welche das Zentrum des Erdkörpers passiert hätten, überhaupt noch nie gefunden wurden. Daraus schließt man, daß die Mitte der Erde einen Aggregatzustand hat, welcher die Fortpflanzung von Transversalwellen nicht erlaubt, d.h. eine sehr geringe Festigkeit besitzt.

Die aus den Eintrittszeiten sehr vieler Erdbeben ungerechneten Geschwindigkeiten im Erdinnern sind aus Tabelle I zu ersehen. Einen Überblick gibt Abb. 4.

Tabelle I
Geschwindigkeit der Erdbebenwellen im Erdinnern¹

Tiefe	<i>v</i> longi- tudinal km/sec	<i>V</i> trans- versal km/sec	Tiefe	<i>v</i> longi- tudinal km/sec	<i>V</i> trans- versal km/sec
57 km	8,0	4,4	2450 km	13 ¼	7 ½
72 km	8,0	4,4	2900 km oben	13	7 ½
1200 km	12 ¼	6 ¾	2900 km unten	8 ½	?
1700 km	12 ½	7 ¼	6370 km	11	?

¹ B. GUTENBERG, Lehrbuch der Geophysik (1929), p. 256 ff.

Aus diesen Tatsachen ersehen wir, daß die Ansicht, daß die Erde aus Schichten mit sprungweise wechselnder Dichte aufgebaut ist, mehr Wahrscheinlichkeit hat als die kontinuierliche Zunahme. Für mathematische Untersuchungen aber ist die erste Annahme bequemer. Ferner ergibt sich offenbar noch, daß die Erde im

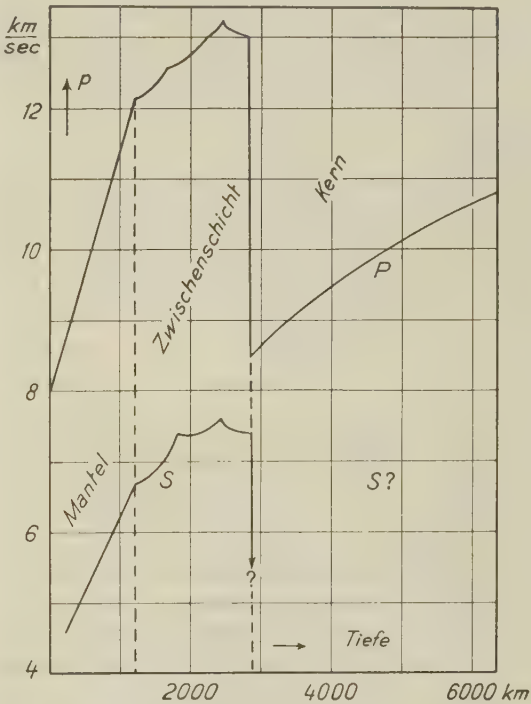


Abb. 4.

Innern weich ist, was in der Abnahme der Geschwindigkeit bei 2900 km Tiefe ausgesprochen ist.

Aus den bisherigen Ausführungen ersehen wir zunächst, daß wir die Erde keinesfalls als absolut festen Körper betrachten dürfen. Das Vorhandensein einer Abplattung könnten wir noch durch die Annahme erklären, daß die Erde in einem früheren Stadium bei hoher Temperatur feurig-flüssig war und damals ihre abgeplattete Figur angenommen hat. Wenn aber die Erde heute noch eine Figur besitzt, die genau der heutigen Rotationsgeschwindigkeit entspricht, so müßten wir annehmen, daß sich die Rotationsgeschwindigkeit seit jenen Urtagen nicht mehr geändert hat; das würde weiter besagen, daß seither auch keine Massenverschiebung in der Erde vorgekommen ist. Ein Blick auf den heutigen geologischen Aufbau der Erde zeigt sofort, daß diese Annahme widersinnig wäre. Andererseits könnten aber in einer ganz festen Erde gar keine Massenverschiebungen stattfinden.

In Übereinstimmung mit den physikalischen Untersuchungen über die Eigenschaften der Masse überhaupt, müssen wir auch der Erde eine gewisse Plastizität oder Viskosität zubilligen derart, daß die Massen der Erde unter den ungeheuren Drucken, die wohl viele Hunderttausende oder auch Millionen Jahre in der

gleichen Richtung wirken, trotz großer numerischer Festigkeit endlich doch nachgeben müssen.

Wenn wir nun die Erdbebenwellen als rein elastisch betrachten, und Resultate, die wir hier finden, sich mit denen für die plastische Erde gut vereinbaren lassen, so ist dies kein Widerspruch. Wir wissen heute, daß sich viele Stoffe unter dem Einfluß kurzer oder kurzperiodischer Stöße wie spröde oder vollkommen elastische Körper verhalten, gegenüber lang anhaltenden Einflüssen die Eigenschaft der Plastizität zeigen. Als klassisches Beispiel hierfür pflegt man das Kolophonium anzuführen.

Man kann versuchen, solche Eigenschaften der Masse durch Formeln auszudrücken, die gewisse Konstanten enthalten, die den Grad solcher Unvollkommenheit in der Elastizität ausdrücken sollen. Für solche Fälle hat JEFFREYS die Bezeichnungen «elastico-viscos» und «firmo-viscos» eingeführt¹.

Isostasie

Es ist klar, daß wir für alle Untersuchungen, für welche die Schwerewerte gebraucht werden, solche Werte nehmen müssen, die möglichst störungsfrei sind, d. h. solche Werte, die auf einer regelmäßigen rotierenden und symmetrisch geschichteten Erde auftreten müßten. Tatsächlich sind aber alle Werte, die wir auf der Erde messen können, gestört, denn die Erde ist namentlich in den der Oberfläche nahen Schichten außerordentlich kompliziert gebaut und jede Masse muß sich in der Schwere aussprechen. Wenn wir nun die Erdgestalt aus Schweremessungen bestimmen wollen, so müssen wir die verwendeten Schwerewerte so behandeln, daß sie für das Meeresniveau gelten, wir müssen nun zunächst fragen, was das heißt: Schwere im Meeresniveau.

Die gewöhnliche Form der Reduktion war bis vor kurzem die Berücksichtigung des Einflusses der sichtbaren Massenunregelmäßigkeiten. Sie begann mit der Berechnung der Anziehung einer horizontalen Platte von der Dicke der Meereshöhe der Beobachtungsstation. Diese Korrektur ist als YOUNG-BOUGUERSche bekannt und hat die Formel $-\frac{3}{2} \frac{\partial}{\partial m} \cdot \frac{h}{Q} \cdot g$. Diese Formel gilt für hinlänglich flaches Terrain (theoretisch für eine unendlich ausgedehnte horizontale Platte). Ihre Berechnung ergibt sich in den meisten Fällen aus der Tatsache, daß die Höhenunterschiede außerordentlich klein sind gegenüber der horizontalen Ausdehnung, trotzdem es für den unbeeinflussten Beobachter ganz anders aussieht. Wenn man aber zum Beispiel ein vollständig genaues Abbild der Erde im kleinen Maßstab macht, so erscheint sie so glatt wie ein Apfel. Fügen wir noch den Einfluß der Höhe hinzu, so bleibt

$$\Delta g = \frac{2h}{Q} g \left(1 - \frac{8}{4} \frac{\partial}{\partial m} \right).$$

¹ H. JEFFREYS, The earth (1924), p. 263.

An diese Formel ist bei sehr unebenem Terrain noch eine Korrektur anzubringen, die als topographische Korrektur bezeichnet wird. Sie läßt sich in manchen Fällen dadurch finden, daß man die Massen durch einfache geometrische Gebilde ersetzt. Für kleine Höhenunterschiede teilt man auch die ganze Umgebung durch Radien und konzentrische Kreise in Abteilungen, deren mittlere Höhen aus den Karten entnommen werden.

Man kann hier auch noch eine Verschiedenheit in der Dichte in Rechnung ziehen.

Da die Anziehung der sichtbaren Massenunregelmäßigkeiten jedenfalls in der Schwere an der Oberfläche enthalten ist, so glaubte man, daß man den Verhältnissen auf einer einfachen Erde jedenfalls näher kommt, wenn man diesen Einfluß wegnimmt; man war nun aber sehr erstaunt, daß dieser Zweck nicht erreicht wurde, im Gegenteil, der Verlauf der Schwere wurde durch diese Reduktion nicht nur nicht einfacher, sondern geradezu ins Gegenteil verkehrt. Man schloß daraus, daß die sichtbaren Massenunregelmäßigkeiten nicht die einzigen sind, und daß die unsichtbaren Massen fast den entgegengesetzten Charakter haben wie die sichtbaren. Den sichtbaren Massenunregelmäßigkeiten auf der Oberfläche entsprechen somit Massendefekte in der Tiefe, und umgekehrt. Namentlich die großen Kettengebirge (Alpen, Kaukasus, Himalaya) erscheinen durch unterirdische Defekte kompensiert. Auch den Kontinenten als Ganzes entsprechen weitreichende Defekte. Die Schwere auf dem Meere scheint ziemlich normal zu sein, da aber das Meer selbst mit seiner Dichte von etwa 1 gegenüber der Erdoberfläche mit einer Dichte von 2,7 an sich einen bedeutenden Massendefekt vorstellt, so folgt, daß die Materie des Meeresgrundes eine größere Dichte haben muß. Die genauere Verfolgung dieser Verhältnisse führte auf die Theorie der Isostasie, nach welcher die Massen der Erde sich in einem gewissen Gleichgewicht befinden. Diese Ansicht stimmt auch mit den Vorstellungen der Geologen überein und findet ihre Stütze in den Ergebnissen der Erdbeben. In der Tat unterscheiden die Geologen in der Erdkruste zwei Schichten, von denen die obere abkürzungsweise als Sial, die untere als Sima bezeichnet wird. Die erstere besteht im wesentlichen aus Al- und Si-haltigen Gesteinen, bildet das Material für Kontinente und Inseln. Das letztere, das Sima, als Si- und Mg-haltiges Gestein, ist etwas schwerer, liegt unter dem Sial und bedeckt den größten Teil der Erde. Aus den Beobachtungen der Erdbeben im Gebiete des Großen Ozeans ergibt sich aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen, daß in diesem Gebiete das Sima bis zum Boden des Meeres heraufreicht, während der Meeresboden sonst noch mit einer Schicht aus Sial bedeckt ist.

Das führt nun zu der Vorstellung, daß die Schollen des Sial auf dem schwereren und plastischen Untergrunde schwimmen. Darauf gründen sich im wesentlichen zwei Theorien, die eine verlangt Schollen von

verschiedener Dichte; die höher aufragenden haben also dann die geringere Dichte (PRATT), die zweite Theorie arbeitet mit gleicher Materie für alle Teile der Sialkruste, aber die mächtigeren Schollen tauchen tiefer ein und ragen auch höher heraus.

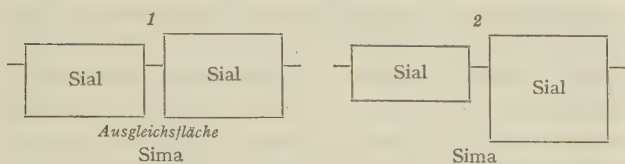


Abb. 5. Isostasie 1 nach Pratt; 2 nach AIRY

Bei PRATT nimmt man also an, daß die Höhenunterschiede von der Zusammensetzung des Materials herühren. Da wir nun aber annehmen müssen, daß die Unregelmäßigkeiten der Massen sich nicht in die tiefsten Tiefen erstrecken, sondern nach unten zu immer mehr abnehmen, so muß bis zu einer gewissen Tiefe der ganze Ausgleich perfekt sein. In dieser Tiefe findet also eine sogenannte Ausgleichsfläche Platz, die nach hydrostatischen Begriffen die Eigenschaft hat, daß auf jeder Flächeneinheit gleichviel Masse lastet. Unter der Annahme, daß jede einzelne sichtbare Massenunregelmäßigkeit für sich kompensiert ist (lokale Kompensation), ist die PRATTsche Methode mathematisch leichter zu behandeln als die nach AIRY. Darum sind auch die ersten großen Arbeiten über diesen Gegenstand von TITTMAN und HAYFORD¹ dieser Methode angepaßt. Die alte sogenannte Kompensationsmethode von HELMERT, bei welcher aus rein theoretischen Gründen (das ist, um die äußeren Massen ins Innere der Niveaulfläche zu verlegen) eine Verlagerung der Massen vorgenommen wurde, ist nun eigentlich durch die isostatische Theorie gerechtfertigt. Danach werden eben die sichtbaren Massen in den Raum zurückgedrängt, den ihnen die Kompensation freiläßt. Dagegen ist die Hypothese von AIRY offenbar physikalisch leichter verständlich. Man kann natürlich auch bei dieser Methode lokale Kompensation voraussetzen, man ist aber heute der Ansicht, daß eine solche Kompensation überhaupt sehr unwahrscheinlich ist. Man nimmt also eine regionale Kompensation an, wie NIETHAMMER² oder VENING-MEINESZ³.

Man hat nun eine ganze Reihe von Methoden, um Schwerebeobachtungen so zu behandeln, daß sie als Werte im Meeresniveau gelten können. Einen vollständig einwandfreien Wert wird man erhalten, wenn man zunächst alle Massen über dem Meeresniveau wegnimmt, dann den Beobachtungspunkt in das Meeresniveau hinunterverlegt, und dann die Erdmassen wieder hinzufügt. Es wird dabei keine Massenverlagerung vorgenommen, alle, auch die kompensierenden Massen, bleiben an Ort und Stelle. Das wären nun tatsächlich

jene Werte, welche man an dem entsprechenden Punkte der Meeresfläche beobachten müßte, wenn er zugänglich wäre. Für diese Methode hat HOPFNER seit einigen Jahren den Namen «Methode von PREY» eingeführt.

2. Man verlegt den Beobachtungspunkt auf das Meeresniveau (Methode von FAYE oder Freiluftmethode). Da die Anziehung der sichtbaren Massen in beiden Situationen des Punktes als gleich angenommen wird, so ist sie etwa so, als wenn in beiden Situationen die Masse unterhalb der Station läge. Diese Methode liefert also fast die gleichen Werte wie die isostatische.

3. Eine weitere Methode besteht darin, daß man zunächst die sichtbaren Massen entfernt, dann den Punkt ins Meeresniveau verlegt und dann noch den Unterschied im Einfluß der Kompensation in beiden Situationen rechnet. Die sichtbaren Massen wirken nach oben, die unsichtbaren im gleichen Sinne, da die Massen zwar unterhalb liegen, aber das andere Vorzeichen haben. Je nach der Annahme über die unterirdische Massenlagerung (nach PRATT oder AIRY) und lokaler oder regionaler Kompensation (nach NIETHAMMER, VENING-MEINESZ¹ oder HEISKANEN) erhält man natürlich verschiedene Resultate.

Es ist klar, daß man für alle Untersuchungen, welche man auf Schwerewerte gründen will, möglichst viele und möglichst gute Beobachtungen braucht. Der erste Fortschritt in bezug auf die Anzahl der Pendelstationen wurde gemacht, als Oberst STERNECK² die schwierige und viel Zeit in Anspruch nehmende Methode der absoluten Schweremessungen durch die Methode der relativen Messungen ersetzte. Seither ist die Zahl der Messungen sehr gestiegen. Trotzdem konnte ACKERL 1932 in seinem Verzeichnis³ erst 4165 Schwerestationen aufweisen. Mit der Anwendung der neuen schnell arbeitenden Schwereapparate von THYSEN, LEJAY-HOLWECK, HAALCK usw.⁴ steigt diese Zahl sehr rasch. Diesen neuen Apparaten Rechnung tragend, haben die Russen ein Programm von etwa 18000 Stationen aufgestellt. Dadurch werden wir über die Schwereverhältnisse in den ungeheuren Weiten von Sibirien unterrichtet, während gleichzeitig durch die Methode von VENING-MEINESZ, mit Hilfe von Pendeln die Schwere im Unterseeboot zu bestimmen, bald auch die vom Meere bedeckten Teile der Erde entsprechend reichlich mit Schwerestationen besetzt sein werden. Dagegen hat die von HECKER ausgearbeitete und auf großen Reisen geprüfte Methode der Schwerebestimmung mit Siedethermometern wegen ihrer Schwierigkeit und Empfindlichkeit nicht das geleistet, was man erhofft hatte⁵. Für die Messung sehr kleiner Schwereunter-

¹ F. A. VENING-MEINESZ, l. c.

² R. v. STERNECK, Relative Schweremessungen 1892-1894, K. u. K. Kriegsministerium, Marine-Sektion (Wien, 1895).

³ F. ACKERL, Die Schwerkraft auf dem Geoid, Sitzungsber. Wien, IIa, Bd. 141.

⁴ P. LEJAY-HOLWECK, J. de Physique et de Radium 7 (1936). - HAALCK, Z. Geophysik 12 (1936).

⁵ O. HECKER, Preuß. geod. Inst. N. F. 11, 16, Zentralbüro N. F. 20

¹ O. H. TITTMAN und J. HAYFORD, The figure of the Earth (1909).

² TH. NIETHAMMER, Schwerebestimmungen in der Schweiz (z. B. Schweizer Dreiecksnetz 17 [1925]).

³ F. A. VENING-MEINESZ, Gravity Expeditions at Sea (z. B. Bull. Géodés. 37 [1933]).

schiede in geringen Entfernungen verwendet man die Drehwaage von v. EÖTVÖS¹.

Ebenso wie mit Schwerebeobachtungen kann man auch mit Lotabweichungen die Form der Niveaufläche (Geoid) bestimmen, doch sind diese Arbeiten deshalb viel weitläufiger und komplizierter, weil die seitlich befindlichen Massen sich viel stärker auswirken, da sie in ihrer Größe nicht mit dem ungeheuren Werte der Schwere konkurrieren müssen. In der Tat sind die großen Arbeiten über die Isostasie in Amerika² auf den Lotstörungen basiert. Dagegen hat HELMERT³ seine Untersuchungen hauptsächlich auf Schweremessungen gegründet. Die aus beiden Untersuchungen folgenden Werte für die Tiefe der Ausgleichsfläche stimmten ganz gut überein.

Wenn die Zahl der Schwerebeobachtungen groß genug ist, so kann man ebenso wie mit Hilfe eines Lotstörungssystems, welches die ganze Erde bedeckt, die wichtigste Aufgabe zu lösen versuchen, die uns die Geophysik heute stellt, nämlich die Frage, ob die Massen der Erdkruste wirklich isostatisch gelagert sind oder nicht. Es läßt sich dies aus der Form des Geoids erkennen. Ist nämlich die Erde weitgehend isostatisch, so muß das Geoid sehr nahe mit einem Rotationsellipsoid zusammenfallen. Die Unterschiede, die geoidische Undulationen bezeichnet werden, müssen klein ausfallen, man denkt an nicht mehr als ± 100 Meter. Ist die Erde aber nicht isostatisch, so wirken sich die gesamten sichtbaren und nicht kompensierten Massen dahin aus, daß die Undulationen groß werden, etwa ± 1000 Meter. Dazu hat man bisher die STOKESSche Formel verwendet. Sie ist aber nicht sehr geeignet, namentlich deshalb, weil sie den Unterschied zwischen äußeren und inneren Punkten nicht macht. Wenn man

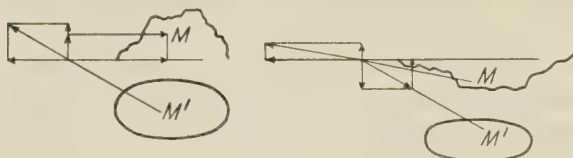


Abb. 6.

aber hinlänglich zahlreiche Schwerestationen hat, so kann man das für diese Arbeiten so außerordentlich brauchbare Hilfsmittel der Kugelfunktionen ausnützen. Entwickeln wir die nach der Freiluftmethode reduzierten Werte der Schwere nach Kugelfunktionen und erhält die Koeffizienten γ_n , so wird die Entwicklung des Geoids gegeben durch die Koeffizienten $\frac{\gamma_n}{\gamma_0(n-1)}$ ⁴. Da bei isostatischer Lage der Massen die Undulationen des Geoides klein ausfallen, obwohl die wahren Schwerestörungen (nach PREY) groß sind, ist leicht verständlich.

¹ R. v. EÖTVÖS, Verhandlungen der XV., XVI. und XVII. allg. Konferenz der Erdmessung.

² I. HAYFORD und W. BOWIE, Coast and geod. Survey Spec. Publ. No. 10 and 12.

³ R. HELMERT, Sitzungsber. Preuß. Akad. Wiss. XLIV (1908).

⁴ A. PREY, Gerl. Beitr. 29 (1931), 36 (1932). – E. JEFFREYS, Gerl. Beitr. 3 (1898).

M sei die Masse und M' ihre Kompensation. Es gehen dann im Falle eines Berges die vertikalen Komponenten der direkten Anziehung und der Kompensation PA und PA' nach der gleichen Seite, und sie summieren sich, die Horizontalen PB und PB' gehen aber nach verschiedenen Seiten. Es ist also die Störung in g groß, die Störung in der Horizontalen klein. Im Falle des Meeres fallen die vertikalen Komponenten PA und PA' in entgegengesetzte Richtungen, aber auch die Horizontalen PB und PB' . Es sind also in diesem Falle die Schwerestörungen, aber auch die Lotstörungen klein¹.

Die Isostasie ist ohne die Annahme, daß die Massen im Innern der Erde sich bewegen können und elastische oder plastische Eigenschaften zeigen, nicht zu erklären. Das bekannteste Beispiel für solche Vorgänge, welche man auch direkt durch fortlaufende Beobachtungen verfolgen kann, sind die Bewegungen des skandinavischen Schildes. Dieser lag während der Eiszeit unter ungeheuren Eismassen begraben, unter deren Gewicht sich die ganze Scholle gesenkt hat. Seit nun die Eiszeit vorbei ist, ist auch die Belastung geschwunden. Es heben sich nun die Schichten wieder, deren Aufsteigen man verfolgen und messen kann. Nach RUDZKI² entspricht diese Bewegung aber nicht genau der Elastizitätstheorie, man muß im Gegenteil annehmen, daß unter dem Druck des Eises ein Teil der Massen seitlich abgewandert ist und in der heutigen Zeit wieder zurückkehrt. Seit dem Ende der Eiszeit hat sich das früher belastete Gebiet um mindestens 280 m gehoben.

Die Plastizität der Erdmassen spielt auch eine Rolle bei den merkwürdigen isostatischen Verhältnissen in den Sundainseln, die VENING-MEINESZ aufgedeckt hat. Dabei spielt offenbar eine seitliche Bewegung der Masse unter einen seitlichen Druck eine wichtige Rolle. Über die Ursache desselben herrscht noch eine Ungewißheit. Vielleicht rührt er doch von der allgemeinen Kontraktion der Erde her. Nach meinen Untersuchungen spielt aber der beim Einsinken der Kontinente stets wachsende hydrostatische Druck eine wesentliche Rolle. Aus meinen Rechnungen ergibt sich für eine Viskosität von 10^{23} , daß bei einer Insel von etwa 1000 km im Geviert in etwa zehntausend Jahren ein Gebirge von 1000 m Höhe entstehen kann.

Die Festigkeit der Erde

Wenn wir die Voraussetzung machen, daß die Erde nicht absolut fest ist, so müssen wir annehmen, daß sie auf alle äußeren Kräfte mit einer Deformation antwortet. In diesem Sinne haben schon KELVIN und DARWIN versucht, für die Erde eine Elastizitätskonstante zu berechnen, später haben dann SCHWEYDAR, HERGLOTZ und der Verfasser³ dem Umstande Rechnung

¹ A. PREY, Gerl. Beitr. 56 (1940).

² M. P. RUDZKI, Z. Gletscherkunde 1 (1906/07).

³ W. SCHWEYDAR, Preuß. geod. Inst. N. F. 54, 79. – G. HERGLOTZ, Z. Math. u. Physik 52. – A. PREY, Gerl. Beitr. 52 (1938).

getragen, daß für die Erde eine einzige Konstante nicht ausreicht und haben daher angenommen, daß sie gegen die Mitte zu nach irgendeinem Gesetze abnimmt. Die Kräfte, welche auf die Erde wirken, sind nach KELVIN die von dem Monde ausgeübten Flutkräfte, denen nicht nur die Wasserhülle, sondern auch die feste Kruste folgen muß. An einem an der Küste aufgestellten Flutmesser wird also nur die Differenz dieser beiden Bewegungen abgelesen werden. Wäre die Erdkruste so beweglich wie das Wasser, so könnten wir überhaupt keinen Unterschied ablesen. Aus dem Unterschiede also, aus dem an einem Flutmesser erkennbaren Rest, muß sich also die Elastizitätskonstante für die feste Erde ableiten lassen.

Einmal auf die Möglichkeit aufmerksam gemacht, hat man den Einfluß der Nachgiebigkeit der Erde auch in anderen Erscheinungen gesucht und gefunden. Wir haben heute drei Methoden hiezu:

1. die Bestimmungen der Periode der Polschwankung,
2. die Beobachtung von Horizontalpendeln,
3. die Untersuchung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen.

Es hat sich ergeben, daß Erdbebenwellen, die mitten durch die Erde gegangen wären, noch nicht beobachtet wurden. Es wird also für solche Wellen offenbar die Dämpfung sehr viel früher merkbar. Es ist also der Kern der Erde offenbar von geringer Viskosität, vielleicht sogar flüssig. Nach JEFFREYS ist die Festigkeit der äußern Kruste $1,7 \cdot 10^{12}$.

Betrachten wir nun die Veränderlichkeit der Polhöhe. Diese Erscheinung wurde schon nach den alten PULKOWA-Beobachtungen gemutmaß, wurde aber erst von KÜSTNER¹ im Jahre 1888 als eine wahrscheinlich periodische Erscheinung festgestellt. Nachdem ferner festgestellt war, daß die Erscheinung auf der anderen Seite der Erde sich im entgegengesetzten Sinne abspielte², erkannte man, daß sie darin besteht, daß der Rotationspol eine kleine Bahn um eine mittlere Lage beschreibt. Diese Bahn hat nur eine entfernte Ähnlichkeit mit einem Kreis, ist also offenbar eine sehr komplizierte Erscheinung, wie aus der Abbildung, die den Weg von 1899–1906 wiedergibt, ersichtlich ist. Um dieser Erscheinung auf die Spur zu kommen, wurde ein internationaler Dienst eingerichtet, derart, daß auf 6 Stationen rund um den 38. Parallelkreis unaufhörlich mit gleichen Methoden und gleichen Instrumenten die Polhöhe gemessen wird. Das Material, das sich nun aufgehäuft hat, ist ungeheuer; die Reduktion hat aber so merkwürdige Dinge zutage gefördert, daß wir zugeben müssen, daß wir die wirkliche Ursache noch nicht richtig erfaßt haben. SCHUMANN vermutet eine tägliche Periode, die aber durch die Methode der Reduktion ganz verdeckt wird. Es wäre daher notwendig, den ganzen internationalen

Dienst neu zu organisieren und andere Methoden der Beobachtung und der Reduktion anzuwenden. Wäre die Erde ein vollständig starrer Körper und geht die Drehungsachse nicht genau durch den geometrischen Pol, sondern weicht um einen kleinen Betrag davon ab, so müßte die Periode den von EULER gefundenen Wert von 303,8 Tagen haben. Diese Periode finden wir aber

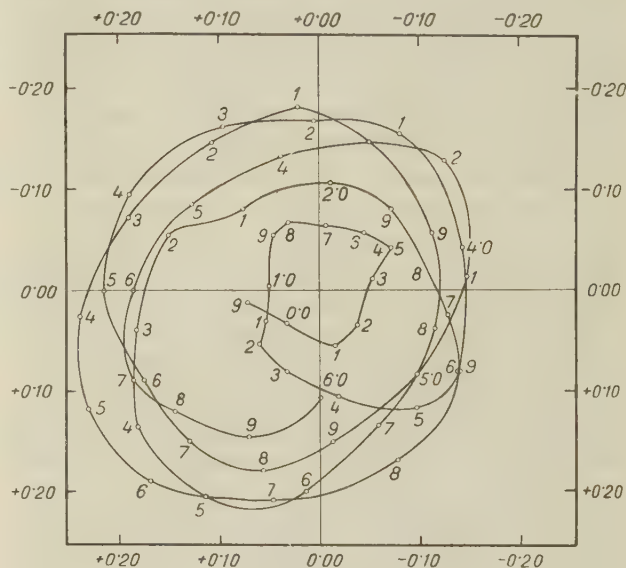


Abb. 7.

in den Beobachtungen nicht, dagegen ziemlich deutlich eine solche von 428–432 Tagen (CHANDLERSche Periode), die noch von einer jährlichen Periode überlagert wird. Bei einer jährlichen Periode denkt man natürlich zunächst an meteorologische Vorgänge. Solche Vorgänge, die sich jährlich wiederholen, üben immer einen Stoß auf die Erdachse aus. Die Unregelmäßigkeit dieser Stöße oder vielleicht besser gesagt der Überschuß oder Defekt gegenüber genau jährlicher Inanspruchnahme wirkt immer wieder als neuer Stoß. So wird die Regelmäßigkeit gestört, und daher hat die CHANDLERSche Periode eine Unregelmäßigkeit gegenüber der theoretisch unveränderlichen sogenannten NEWCOMBSchen Periode. Die Bewegung des Pols auf der Erdoberfläche ist sehr klein und erstreckt sich auf nicht mehr als etwa ± 10 m. Die jährlichen Stöße sind nach SPITALER nichts anderes als die im Winter eintretende einseitige Belastung der sibirischen Flächen mit dem großen Luftdruck von 780 mm, der dann mit dem Eintritt des Frühjahres wieder verschwindet. Die Festigkeit, die notwendig ist, um die Periode von 304 auf 432 Tage zu erhöhen, ist nach HERGLOTZ $11,68 \cdot 10^{11}$, wobei die Erde als vollständig elastisch behandelt ist. Ist nun schon die Erde für periodische Störungen von der Länge von $1\frac{1}{4}$ Jahren fast als rein elastisch aufzufassen, so gilt dies noch mehr für die kürzeren Perioden, welche durch die Flutkräfte ausgelöst werden.

Die Festigkeit der Erde kann man nämlich auch aus der Flutbewegung ableiten, das heißt aus der Differenz

¹ F. KÜSTNER, Sternwarte Berlin, Heft 3 (1888).

² Zentralbüro der Int. Erdmessen (Berlin 1892).

zwischen der Bewegung des Wassers und den sogenannten körperlichen Gezeiten. Dieselbe Differenz kann man auch aus den Horizontalpendelbeobachtungen erkennen. Das Pendel folgt in seiner Stellung der Lotlinie, während das Stativ sich mit der Scholle bewegt. Diese Bewegungen sind natürlich viel geringer als was man mit einem Flutmesser überhaupt messen kann, die Beobachtungsgenauigkeit aber bedeutend größer. Die Berechnung ist sehr schwierig und kompliziert, führt aber auf folgende ganz einfache Relationen: $1 + k - h = 2/3$ (nach DARWIN)¹ und $k = 3/5 h$ (nach HOUGH)². Hier charakterisiert k die Deformation durch die Flutkräfte, während h die Deformation der Niveaufläche oder was dasselbe ist, die Verschiebung des Wassers durch die Flutkraft ausdrückt. Daraus folgt $h = 5/6$; dies ist im Widerspruch mit dem Wert, der aus der Polschwankung folgt. In der Tat findet man bei genauerer Überlegung, daß wir für die drei Unbekannten μ , h , k , 4 Gleichungen haben. Die Aufgabe ist also überbestimmt und wir können sie dahin erweitern, daß wir als vierte Unbekannte eine Änderung der Festigkeitskonstante von der Erdoberfläche bis zum Mittelpunkt einführen, welche Aufgabe zuerst SCHWEYDAR und dann der Verfasser nochmals behandelt hat. Aus diesen letzteren Untersuchungen ergibt sich $\mu = 16 \cdot 10^{11}$ ($1 - 0,83 r^2$). Nimmt man aber auch nach den Ergebnissen der Erdbeben-theorie an, daß die Festigkeit im Mittelpunkt bis auf 0 heruntergeht, so wird $\mu = 60 r^2$ ($1 - 0,95 r^2$), woraus sich ein Maximum der Festigkeit mit $15,8 \cdot 10^{11}$ an der Stelle $r = 0,72$ ergibt.

Fluttreibung und Geschichte des Mondes

Es ist bekannt, daß das Meer unter dem Einfluß der Anziehung des Mondes und der Sonne eine Gezeitenbewegung ausführt, die, wenn die Flüssigkeit ganz frei von innerer Reibung ist, sich so vollzieht, daß das Wasser immer im Meridian des Mondes seine höchste Erhebung erreicht. DARWIN hat gezeigt, daß diese Bewegung nicht auf das Wasser beschränkt ist, sondern daß auch die feste Erde auf Grund ihrer elastischen Eigenschaften daran teilnimmt. Wir kommen so zum Begriff der körperlichen Gezeiten. Auch die elastische Flut muß im Meridian des Mondes entstehen. Kommen der Erde aber auch plastische Eigenschaften zu, so verschiebt sich das Maximum dadurch, daß die rotierende Erde den Flutberg mit sich fortzieht. Indem aber die Anziehung des Mondes den Flutberg wieder an seine alte Stelle zurückzuschieben strebt, entsteht ein Drehmoment, welches zunächst der Rotation der Erde entgegenzuwirken sucht. Dadurch erfährt der Mond eine Reaktion, die ihn von der Erde abdrängt, und die in der Mondtheorie behandelt wird. Die Verlängerung der Umdrehungszeit der Erde wird aus einem scheinbaren Vorseilen des Mondes erkannt. Es läßt sich berech-

nen, wieviel Energie dazu zerstreut werden muß, und JEFFREYS gibt dafür $139 \cdot 10^{19}$ pro Sekunde. Nun haben aber die Untersuchungen von TAYLOR¹ gezeigt, daß der größte Teil dieser Energie in den seichten Meeren verbraucht wird, nach JEFFREYS speziell im Beringmeer, welcher Betrag allein $15,0 \cdot 10^{18}$ pro sec beträgt; als Gesamtsumme aller seichten Meere erhält man einen Wert von $1,1 \cdot 10^{19}$, also schon 80% von dem ganzen gebrauchten Wert. Wir erkennen, daß wir die körperlichen Gezeiten überhaupt nicht mehr brauchen und alles dem Meere zuschreiben müssen.

Dieses Resultat stimmt auch damit überein, daß die neuesten Untersuchungen über den Durchschnittswert der Viskosität der Erde ungeheure Werte ergeben².

Kontinentalverschiebungen, Polfluchtkraft und Westdrift

Es haben viele geologische Untersuchungen wahrscheinlich gemacht, daß die geographischen Pole einstmals an einer anderen Stelle der Erde gewesen sind. Denn es haben sich selbst in der Nähe des Pols Pflanzenreste gefunden, die auf ein ehemals viel wärmeres Klima deuten. Wie eine solche Polwanderung zustande kommt, hat zuerst MILANKOWITCH³ gezeigt, der annimmt, daß die Erde aus viskoser Masse mit einer sehr spröden äußeren Hülle besteht. Der Verfasser⁴ selbst hat dieses Problem ebenfalls behandelt, dabei die Erde direkt als Flüssigkeit aufgefaßt, die ebenso wie bei MILANKOWITCH äußerlich mit einer sehr spröden Rinde umgeben ist, wodurch es möglich wurde, das Problem geschlossen zu integrieren, so daß man die Formeln auf beliebig lange Zeit anwenden kann. Die Polbahnen, die aus diesen beiden Untersuchungen folgen, sind wohl stark voneinander verschieden. Da MILANKOWITCH eine innere Reibung einführt, so wird seine Bahn spiralig; sie endet in $\varphi = 66^{\circ}4'$, $\lambda = 51^{\circ}18'$ östlicher Länge, das ist bei der Petschoramündung, bei mir dagegen beschreibt der Pol eine periodische Bahn um den Zentralpunkt $\varphi = 48^{\circ}5'$, $\lambda = 87^{\circ}1'$ östlicher Länge (Altai).

Die Periode ist auffallend kurz, nur 9000 Jahre, und das ist merkwürdigerweise schon ein Maximum, denn für eine Viskosität größer als Null wird auch die Periode schon wieder kürzer. MILANKOWITCH gibt aber keine numerischen Werte für die Viskosität und somit läßt sich sein Resultat mit dem unsrigen nicht vergleichen. Er führt einen Zeitmaßstab ein, der so gewählt ist, daß eine Übereinstimmung mit den geologischen Ansichten erreicht wird. Eine Verlängerung der Periode erreicht man dadurch, daß man von der als fest eingeführten Kruste noch einen Teil in den Kern hineinnimmt. Wenn man zum Beispiel annehmen kann, daß nur etwa $1/100$ der Rinde ganz fest ist, so steigt die Periode auf eine Million Jahre, was vielleicht den geologischen Anforderungen entspricht.

¹ G. I. TAYLOR, Phil. Trans. A 220 (1919) und 224 (1923).

² A. PREY (Sitzungsber. IIa, 151) findet 10^{25} cgs.

³ M. MILANKOWITCH, Bull. Acad. Serbe A I, Belgrad 1933.

⁴ A. PREY, Gerl. Beitr. 15 (1926).

¹ S. S. HOUGH, Phil. Trans. of London 1896, Ser. A, vol. 187.

² G. H. DARWIN, Scientific papers II.

Die Ablösung des Mondes von der Erde war natürlich eine Katastrophe von ganz unvorstellbarer Größe. Dabei ist offenbar die Sialhülle zerrissen worden und die Trümmer wurden über die ganze Erde verstreut. Die Schollen lagen zuerst ganz oben auf dem Sima, aber sie begannen sofort einzusinken, dadurch wurden von Anfang an große seitliche Verschiebungen verhindert. Die Schollen liegen also wohl heute noch an den gleichen Stellen wie damals. Da die Oberfläche der Schollen wohl keineswegs eben war, so wurden natürlich die tieferen Teile bald vom Meere überflutet. Auf diese Weise verschwanden die Verbindungen oder Landbrücken zwischen den Kontinenten. Bei dieser Vorstellung erspart man die Notwendigkeit nach einer Ursache von Kontinentalverschiebungen zu suchen. In der Tat haben alle diese Versuche keine brauchbare Lösung ergeben. An erster Stelle wurde hier die sogenannte Polfluchtkraft betrachtet, die dadurch entsteht, daß die auf dem Sima schwimmenden Sialschollen eine höhere Lage des Schwerpunktes haben als die niedrigeren Simamassen. Daraus entspringt ein kleiner Überschuß der Fliehkraft, welcher die Schollen zum Äquator treibt. Die Untersuchungen¹ haben ergeben, daß die Polfluchtkraft, je näher die Lagerung der Schollen der Isostasie liegt, um so kleiner wird², so daß man nicht glauben kann, daß eine so kleine Kraft den ungeheuren Stirnwiderstand, der sich einer Horizontalverschiebung entgegenstellt, überwinden kann. Die einzige Möglichkeit für eine Kontinentalverschiebung bietet die Westtrift, die sich aus den Flutkräften ergibt. Aber auch sie kann nur in den ältesten Zeiten wirksam gewesen sein, als die Viskosität nicht größer als $10^{13} - 10^{15}$ gewesen ist. Aber auch diese Kraft kann für den vorliegenden Fall nicht viel ergeben, denn sie greift nicht nur an dem Sial, sondern auch an dem Sima an. Die Schollen schwimmen nicht wie Schiffe im Meer, sondern wie Eisschollen mit dem Meere. Es können also gegenseitige Verschiebungen nur eintreten, wenn die Bewegung an irgendeiner Stelle einseitig ist.

Im Anschluß an den eben erwähnten Einfluß des hydrostatischen Druckes auf die Gebirgsbildung erhebt sich die Frage, mit welcher Geschwindigkeit eine Scholle in das Sima einzusinken vermag. Aus meinen diesbezüglichen Untersuchungen³ ergibt sich zunächst das unerwartete Resultat, daß für kleine Werte der Viskosität (von der Ordnung $10^{13} - 10^{15}$) das Einsinken mit unglaublicher Geschwindigkeit vor sich geht und in wenigen Tagen schon vollendet ist. Für einen solch geringen Grad der Viskosität müßte also das Einsinken mit der Entstehung des Mondes fast zusammenfallen und sich auch dieser Vorgang mit der großen Katastrophe vereinigen. Will man aber, daß dieser Vorgang so lange Zeit braucht, daß man ihn in das übrige geologische Geschehen einordnen kann, also

etwa 200 000 000 Jahre, so erhält man für den Koeffizienten der Viskosität die Ordnung 10^{25} .

Wenn wir nun zurückblicken, so sehen wir, daß unser Wissen über die Erde schon ein recht gerundetes Ganzes bildet. Es soll aber hier zum Schlusse noch auf die schwachen Punkte und auf die noch durchzuführenden Arbeiten aufmerksam gemacht werden. Da wäre also in erster Linie Aufklärung zu schaffen über die Vorgänge bei der Polschwankung, ferner das rätselhafte Verhalten des Rotationsmomentes bei der Entstehung des Mondes; endlich hoffen alle Geophysiker auf ein baldiges und möglichst starkes Anwachsen der Zahl der Schwerstationen, um endlich das Problem der Erdfigur einwandfrei zu lösen.

Summary

Geophysics develops methods for deriving the properties of the interior of the earth from the observation of the physical behaviour of the earth's surface. From the potential theory one obtains a value for the flattening of the terrestrial spheroid which agrees with that reached by means of geodetic surveys of the surface of the earth. The mean density of the earth is determined through measurements of its weight to be 5.52, while CLAIRAUT's theorem allows us to calculate its increase of density towards the interior. Under the premise of a hydrostatic equilibrium of the layers of the terrestrial sphere, the density function must assume a limiting value of 2.7 at the earth's surface and lead to a value of $1/300$ for the flattening. Further, it must provide for the alteration of gravity, a correct constant of precession, and the components in the moon's movements that result from the flattening of the earth.

The various tentative density functions give a value of 10–12 for the density at the middle of the earth. Seismic observations have shown, however, that the density of the earth does not alter continuously, but in jumps. WIECHERT has there upon constructed his model of the earth with a homogenous core of iron with the density of 8.2 and a shell with $1/4$ the radius of the earth and a density of 3.0–3.5 resting upon it. Since transverse seismic waves that traverse the earth's center are never observed, the earth's core must possess very little rigidity, so that the seismic waves are absorbed there. Thus, although the earth must be regarded as plastic to a certain degree, the seismic waves nevertheless can be viewed for mathematical theory as elastic, since the "elastic-viscous" condition of the earth (JEFFREYS) behaves in regard to brief impulses as a rigid body, in regard to impulses of longer duration however as a plastic one.

The shell about the core is divided into two layers: the sial and the sima. The "isostatic reduction" introduced in order to correct the measurements of weight because of the irregular distribution of masses on the earth's surface leads to the conception of clods of the sial mantle, which float on the plastic base of the sima. The plasticity of the earth's interior is a necessary postulate for the theory of isostasy.

The plasticity of the earth can also be demonstrated, however, from observations of horizontal pendulum movements, of the velocity of propagation of seismic waves, and from the variations of the poles. If the axes of inertia and of rotation do not coincide, then in the case of an absolutely rigid earth the pole of rotation must rotate about the pole of inertia with a period of 308 days (EULER). The exact observations made by the

¹ A. PREY, Gerl. Beitr. 48 (1936).

² A. PREY, Gerl. Beitr. 15 (1926).

³ A. PREY, Sitzungsber. Akad. Wiss., Wien, Bd. 151.

international latitude service to determine the variation of the poles show, however, a very clear prolongation of this period up to 430 days, which is conditioned by the earth's plasticity, and from which its rigidity can be calculated. This result, though, stands in contradiction to the value derived by DARWIN from the tides. PREY and SCHWEYDAR therefore have assumed a variable rigidity for the earth and have derived for this the function $\mu = 1.6 \cdot 10^{12} (1 - 0.83 r^2)$. The rotation of the earth is also retarded by the tide, as can be recognized from the apparent precession of the moon. Investigation of the wanderings of the poles over long periods of time yield geologically useful results only when one assumes

that only $1/10$ of the shell is wholly rigid. The formation of the continents can be explained by the separation of the moon from the earth, whereupon the sial mantle was torn asunder and the remainder sank clodlike into the sima. A displacement of the continents relative to the sima has taken place at most only in the remoter geological periods. If, though, the sinking of the continental clods shall have occurred only very slowly during whole geological epochs, then one must either assume the earth's viscosity to be of the order of 10^{25} , or one is driven, when one assumes a normal viscosity of the order of 10^{13} , to the conclusion that the sinking of the clods followed very rapidly during the separation of the moon.

Über die Wirkungsweise der Katalasen¹

Von HUGO THEORELL², Stockholm

Die Fähigkeit der meisten biologischen Substanzen, Wasserstoffsuperoxyd zu Sauerstoff und Wasser zu spalten, ist ebenso lange bekannt gewesen wie das Wasserstoffsuperoxyd selbst, das heißt seit 1811. THÉNARD, der Entdecker des Wasserstoffsuperoxyds, beobachtete im selben Jahre, daß Fibrin und viele tierische und pflanzliche Gewebe das Wasserstoffsuperoxyd unter Entwicklung von Sauerstoff spalten. Bis zum Jahre 1900 hat man gemeint, daß diese Reaktion eine Eigenschaft der Lebensvorgänge selbst und also von den lebenden Zellen untrennbar wäre. Gerade um die Jahrhundertwende zeigten nun RAUDNITZ³ und OSKAR LOEW⁴, daß man Wasserstoffsuperoxyd spaltende Enzyme (die Katalasen) aus der lebenden Substanz extrahieren kann. Nach den hervorragenden Arbeiten von OTTO WARBURG und von DAVID KEILIN in den zwanziger Jahren über die Hämifermente war es nicht sehr überraschend, als ZEILE und HELLSTRÖM im Jahre 1930⁵ zeigten, daß die wirksame Gruppe der Katalase Häm ist. STERN⁶ bewies, daß das Häm Prot hämin ist, und fand weiter, daß Leberkatalasepräparate dazu noch ein blaugrünes Pigment enthalten. SUMNER und seine Mitarbeiter studierten dasselbe zu gleicher Zeit⁷. LEMBERG und seine Mitarbeiter bewiesen, daß der blaugrüne Farbstoff Biliverdin ist⁸.

SUMNER und DOUNCE kristallisierten die Ochsenleberkatalase (1937)⁷, und seitdem sind eine Reihe von Katalasen reinkristallisiert worden, aus verschiedenen Lebern, aus den roten Blutzellen, aus der Pferdeniere

usw. Neulich haben englische Autoren eine Bakterienkatalase reinkristallisiert¹, die anscheinend keine besonderen Verschiedenheiten im Vergleich mit der Blutkatalase aufwies. Trotz der Leichtigkeit mit der schön kristallinische Präparate von Katalase dargestellt werden können, sind unsere Kenntnisse über ihre Zusammensetzung, Wirkung pro mg oder Mol, Wirkungsweise und physiologische Funktion sehr mangelhaft gewesen, was aus den vielen Widersprüchen in der Literatur, z.B. über den Biliverdinhalt und der Katalasefähigkeit verschiedener Präparate hervorgeht.

Wir sind in Stockholm während der letzten zehn Jahre an der Katalasefrage interessiert gewesen.

Das Wort *wir* soll nun wirklich als ein Plural, nicht etwa als ein verstecktes *ich* aufgefaßt werden, denn das meiste von der Arbeit ist von meinen Mitarbeitern während verschiedener Perioden, AGNER, ÅKESON, BONNICHSEN und BRITTON CHANCE, ausgeführt worden.

Die Bestimmung des Molekulargewichts der Ochsen- und Pferdeleberkatalase in SVEDBERGS Institut zu Uppsala ergaben den Wert 225000², der auf vier Eisenatome pro Molekül paßt. In den Blutkatalasen sind nach SUMNER und LASKOWSKI³ sowie AGNER⁴ alle vier in Prot hämin vorhanden, während in den Leberkatalasen eines oder mehrere der Prot hämatine zu Verdohämatin oxydiert waren.

Es war nun eine offene Frage, ob die Katalasen vom selben Tier, aber aus verschiedenen Organen, die gleichen oder verschiedene Eiweißkomponenten hätten. BONNICHSEN verglich die Pferdeleber- und die Pferdeblutkatalasen mittels Aminosäureanalysen und immunologischer Experimente und bewies damit die Identität der Eiweißkomponenten⁵.

Wir wandten uns hierauf den prosthetischen Gruppen zu. Die Schwankungen im Biliverdinhalt verschie-

¹ Hauptreferat, gehalten vor der Schweizerischen Medizinisch-Biologischen Gesellschaft in Genf am 31. August 1947, anlässlich der 127. Generalversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.

² Biochemisches Institut des Medizinischen Nobelinstituts, Stockholm.

³ R. RAUDNITZ, Zbl. Physiol. 12, 790 (1899).

⁴ O. LOEW, U.S. Dept. Agr. Report No. 68, (1901).

⁵ K. ZEILE und B. HELLSTRÖM, Z. Physiol. Chem. 192, 171 (1930).

⁶ K. G. STERN, J. Biol. Chem. 112, 661 (1935/36).

⁷ J. B. SUMNER und A. L. DOUNCE, J. Biol. Chem. 121, 417 (1937).

⁸ R. LEMBERG und R. H. WYNDHAM, J. Roy. Soc. New South Wales 70, 343 (1936/37).

¹ D. HERBERT und AUDREY J. PINSANT, Nature 160, 125 (1947).

² K. AGNER, Biochem. J. 32, 1702 (1938).

³ M. LASKOWSKI und J. B. SUMNER, Science 94, 615 (1941).

⁴ K. AGNER, Ark. Kem. Min. Geol. 17B, N:r 9 (1943).

⁵ R. K. BONNICHSEN, Arch. Biochem. 12, 83 (1947).

dener Leberkatalasepräparate, die z. B. SUMNER¹ immer fand, erregten unsern Verdacht, daß das Biliverdin überhaupt ein postmortales Kunstprodukt sei, das entweder enzymatisch oder infolge ungeeigneter präparativer Maßnahmen entstanden ist. BONNICHSEN hat neulich diese Frage durch die Darstellung biliverdinfreier Katalasen aus Menschen-, Meerschweinchen- und Pferdeleber gelöst.

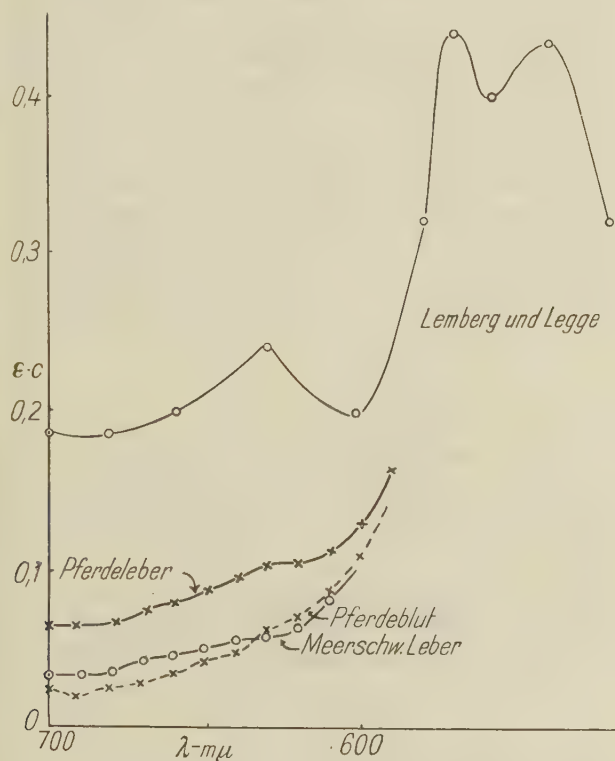


Abb. 1. Lichtabsorption von CO-Hämochromogenen.

$$\varepsilon \cdot c = \left(\frac{\log J_0/J}{\text{cm}} \right).$$

Die Abb. 1 zeigt einige Lichtabsorptionskurven von CO-Hämochromogenen, die mit verschiedenen Katalasepräparaten gemacht wurden. Unterhalb der Wellenlänge 580 mμ sind alle Kurven praktisch gleich, weshalb nur eine ausgezogen ist. Im roten Gebiet dagegen finden sich große Unterschiede, die auf einen wechselnden Gehalt von Verdohämochromogen zurückzuführen sind. Das Pferdeleberkatalasepräparat von LEMBERG und LEGGE² weist eine sehr deutliche Bande bei 630 mμ auf, die in Pferdeleberkatalasepräparaten von ROGER BONNICHSEN nur angedeutet ist und in den Präparaten aus Pferdeblut und Meerschweinchenleber überhaupt nicht vorkommt. Die Arbeiten von BONNICHSEN³ zeigen, daß der Biliverdingehalt der Leberkatalasepräparate von der Darstellungsweise abhängt, und daß man mit geeigneten Maßnahmen biliverdinfreie Leberkatalase darstellen kann. Dagegen ist es

noch nicht bewiesen, daß alle vier Hämine im Leberkatalasemolekül Protohämatine sind. Die Möglichkeit steht noch offen, daß die Oxydation des Katalaseprotohämins z. B. zu Oxyhäm in der Leber physiologisch vorkommt.

Die Bestimmung der Aktivität der Katalasen ist niemals sehr befriedigend gewesen. Seit mehr als zwanzig Jahren hat man die Bestimmungsmethode von v. EULER und JOSEPHSON verwendet, wobei eine sehr kleine Menge Katalase – weniger als 1γ von reinen Präparaten – in 50 ml Phosphatpufferlösung Wasserstoff-superoxyd spaltet. Nach verhältnismäßig langer Zeit, z. B. nach 3, 6 und 9 Minuten, nimmt man Proben heraus und bestimmt mittels Titration mit Permanganat die noch vorhandene Menge von H₂O₂. Ein Übelstand dabei ist, daß die Reaktionskonstante, die gemäß der Formel

$$k = \frac{1}{t} \cdot \frac{1}{[E]} \cdot \ln \frac{x_0}{x}$$

gleichbleiben sollte, in der Wirklichkeit mit der Zeit erheblich abfällt, so daß man, um den Anfangswert der Aktivität zu finden, eine Extrapolation zur Zeit 0 unternehmen muß.

Wir haben nun gefunden¹, daß die obengenannten Bedingungen zur Messung der Katalaseaktivität in zweierlei Hinsicht ungünstig sind. Erstens wird bei der angewandten hohen Verdünnung der Katalase ein beträchtlicher Teil davon an die Glaswände des Gefäßes adsorbiert, wodurch ja die Aktivität herabgesetzt wird. Zweitens werden die wenigen Katalasemoleküle, die ja eine große Menge von Substrat während langer Zeit spalten müssen, dadurch selbst zum Teil inaktiviert. Beide Nachteile lassen sich nun sehr leicht beseitigen, nämlich einfach durch Erhöhung der Katalasekonzentration und entsprechende Verkürzung der Reaktionszeit.

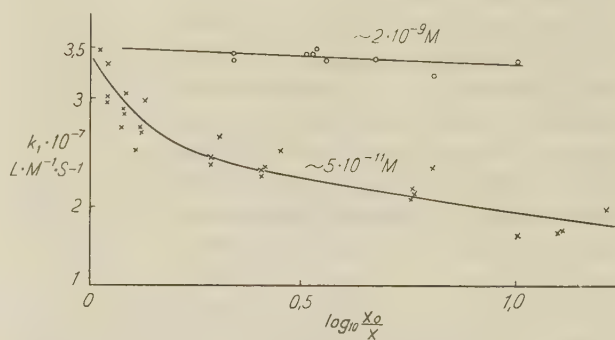


Abb. 2. Ordinate: Liter pro Mol und Sekunde.

$$\text{Abszisse: } \log \frac{(\text{H}_2\text{O}_2) \text{ Zeit} = 0}{(\text{H}_2\text{O}_2) \text{ Zeit} = t}$$

Die Abb. 2 zeigt einige Ergebnisse von Bestimmungen der Reaktionsgeschwindigkeitskonstante mit demselben Katalasepräparat nach der alten Methode (un-

¹ J. B. SUMNER und A. L. DOUNCE, J. Biol. Chem. 121, 417 (1937).

² R. LEMBERG und J. W. LEGGE, Biochem. J. 37, 118 (1943).

³ R. K. BONNICHSEN, noch unveröffentlicht.

¹ R. K. BONNICHSEN, B. CHANCE und H. THEORELL, Acta Chem. Scand., im Druck.

tere Kurve) und mit der neuen (obere Kurve). Man ersieht daraus, daß nach der alten Methode im Anfang eine schnelle Abnahme der Reaktionsgeschwindigkeitskonstante stattfindet. Später wird die Abnahme fast geradlinig und etwas langsamer, ist aber immer noch beträchtlich. Diese letzte Phase entspricht den von den meisten Autoren angewandten 3-, 6- und 9-Minuten-Werten. Offenbar wird eine Extrapolation bis zur Zeit $t = 0$ einen viel zu niedrigen Wert ergeben. Wurde dagegen die Katalasekonzentration auf das 40fache erhöht (obere Kurve), so erwies sich die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante als von $\log_{10} \frac{x_0}{x}$ fast unabhängig.

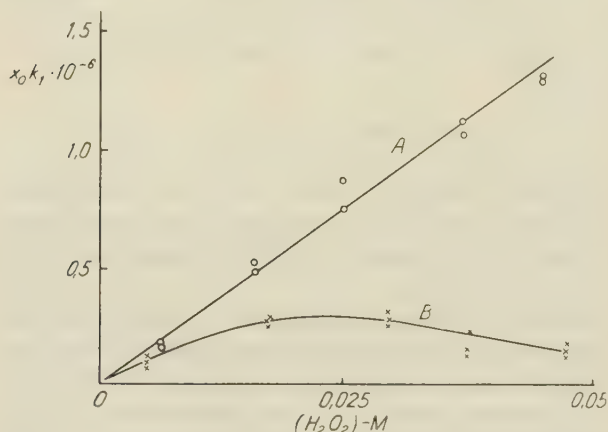


Abb. 3. Ordinate: Anfangskonzentration des H_2O_2 · Reaktionsgeschwindigkeitskonstante $\cdot 10^{-6}$.
Abszisse: Anfangsmolarität des H_2O_2 .

Noch deutlicher tritt der Einfluß von Katalasekonzentration und Reaktionszeit in der Abb. 3 hervor, wenn die anfängliche Konzentration des H_2O_2 (x_0) variiert wird. Nach der alten Methode der Aktivitätsbestimmung ergibt eine Erhöhung der anfänglichen H_2O_2 -Konzentration eine rasche Abnahme der Reaktionsgeschwindigkeit (Kurve B). In einem gewissen Konzentrationsbereich kann es dabei geschehen, daß die Reaktionsgeschwindigkeit als von der H_2O_2 -Konzentration unabhängig erscheint (um 0,025 M H_2O_2 herum). Manche Autoren haben daraus den Schluß gezogen, daß die Katalasen bei dieser Konzentration im Sinn der MICHAELISschen Theorie mit H_2O_2 gesättigt sind, und sogar Werte für die MICHAELIS-Konstante angegeben.

Die Experimente mit höherer Katalasekonzentration (Kurve A) lehren indessen, daß die älteren Resultate Artefakte sind, die von der Verwendung allzu verdünnter Katalaselösungen herrühren. Von einer Sättigung der Katalase mit H_2O_2 ist nichts mehr zu sehen, und eine MICHAELIS-Konstante existiert also im experimentell zugänglichen H_2O_2 -Konzentrationsgebiet nicht.

BRITTON CHANCE, der als Guggenheim-Fellow zur Zeit mit uns arbeitet, hat mit einer verfeinerten HART-RIDGE-ROUGHTON-MILLIKAN-Technik die Kinetik der Katalasen und ihre Verbindungen eingehend unter-

sucht¹. Zwei Spritzen, Abb. 4, oben, enthalten z.B. Katalase und H_2O_2 -Lösung. Der Inhalt beider wird gleichzeitig in eine Mischkammer hineingetrieben und fließt nach der Mischung in eine Röhre von etwa 1 mm Durchmesser hinaus. Ein monochromatischer Lichtstrahl von beliebig einstellbarer Wellenlänge passiert quer durch die Kapillare und die Variationen in der Lichtabsorption werden entweder mit einem Galvanometer oder für sehr schnelle Reaktionen mit einem Oszillographen registriert. Mit Hilfe einer im Lumen der Kapillare befindlichen Platinelektrode kann außerdem die H_2O_2 -Konzentration polarographisch registriert werden. Die Experimente können nach zwei etwas verschiedenen Methoden gemacht werden. Nicht allzu schnelle Reaktionen werden am besten dadurch studiert, daß man eine schnelle Injektion der beiden Flüssigkeiten in die Kapillare macht und dann die Veränderungen in der wieder stillstehenden Flüssigkeit in der Kapillare untersucht («flow-stop»-Methode).

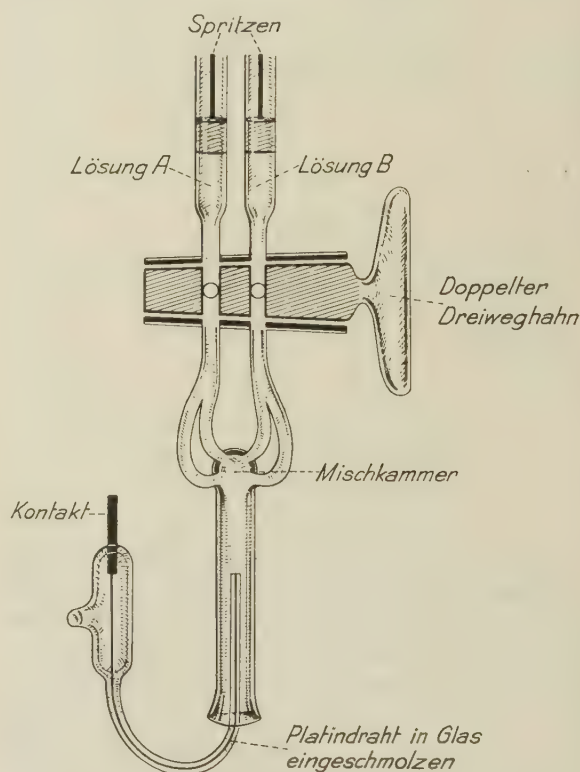


Abb. 4. Mischeinrichtung für Katalase und H_2O_2 -Lösung.

Schnelle Reaktionen, die in einem Bruchteil von einer Sekunde ablaufen, werden dagegen am besten während der Durchströmung der Kapillare registriert («stream-flow»-Methode).

Auf die technischen Einzelheiten², die in der Abb. 5 schematisch dargestellt sind, kann ich hier nicht näher eingehen, nur eines sei besonders hervorgehoben. In-

¹ B. CHANCE, Acta Chem. Scand. 1, 235 (1947). Eine weitere Reihe von Arbeiten über die Kinetik der Katalase werden demnächst veröffentlicht werden.

² B. CHANCE, Rev. Scient. Instr. 18, 601 (1947).

folge der hohen Reaktionsfähigkeit der Katalasen mußte CHANCE mit sehr verdünnten Lösungen arbeiten, deren Farbe mit dem Auge nicht zu sehen war. Infolgedessen waren die Veränderungen der Lichtab-

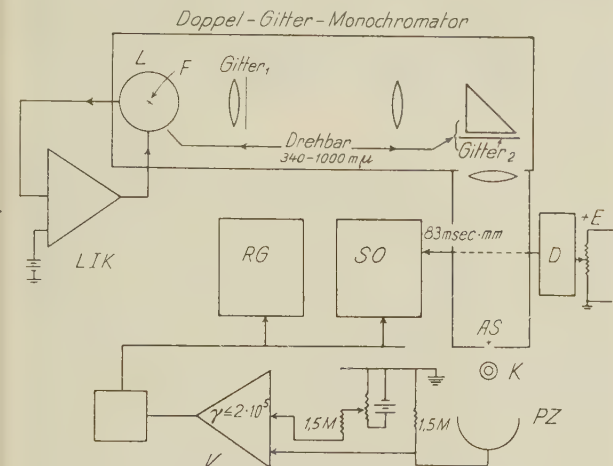


Abb. 5. Meßeinrichtung, schematisiert.

L = Lampe zu 4 A und 8,5 V. Der Glühfaden (F) wird auf dem Eintrittsspalt abgebildet.

LIK = Einrichtung zur Kontrolle der Lichtintensität ($7 \cdot 10^4$ A/V).
Stabilisierungsverhältnis = $3 \cdot 10^4$.

RG = Registriergalvanometer; 1 Skalenstrich $\geq 10 \mu\text{V}$; $\geq 6,7 \cdot 10^{-12} \text{ A}$; 0-2 Schwingungen/sec.

SO = Spiegeloszillograph; 1 mm Ausschlag $\geq 4,2 \mu\text{V}$; $\geq 2,8 \cdot 10^{-12} \text{ A}$; 0-500 Schwingungen/sec.

Die Bezeichnung 83 msec/mm gibt an: Mit dieser Mischkammer würde ein Ausschlag von 83 mm bedeuten, daß 1 msec zwischen Mischen und Beobachten verfließt.

AS = Austrittsspalt von 5 m μ .

D = Apparat, der die Spannungsveränderung mit der Zeit registriert.

K = Kapillare von 1 mm Durchmesser (vgl. Abb. 4).

PZ = Photozelle (Fabrikat RCA, Type 929 oder 935).

V = Verstärkungseinrichtung; $1,5 \text{ M} = 1,5 \text{ M}\Omega$; γ = Verstärkungsgrad. Periode des Galvanometers = 0,020–10 sec.

sorption sogar auf dem Gipfel der Soret-Bande im Violett außerordentlich klein, von der Größenordnung 1% oder weniger, so daß die Anforderungen an die Konstanz der Lichtquelle extrem hoch waren.

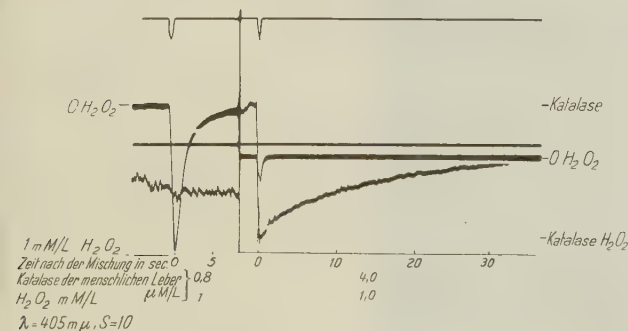


Abb. 6.

Ein «Electroncontroller» reduzierte alle zufälligen Spannungsschwankungen 30000mal und die kontinuierliche Spannungsveränderung war kleiner als 0,001% pro Minute.

Die Abb. 6 zeigt einige Experimente von CHANCE. Links wurde eine sehr kleine Menge von Katalase, $0,08 \mu\text{M/L}$, mit $\text{H}_2\text{O}_2/1 \text{ mM/L}$ gemischt. Die horizontale Linie oben zeigt im Moment der Injektion eine Zacke, die ein Maß der Strömungsgeschwindigkeit in der Kapillare ist. Die mittlere Kurve gibt den Ausschlag der Platinelektrode an. Die große, nach unten gerichtete Zacke ist also ein Maß der H_2O_2 -Konzentration in der Kapillare. Nach 5 bis 10 Sekunden ist demnach alles H_2O_2 gespalten. Die dritte, etwas unregelmäßige Kurve ist das spektrophotometrische Ergebnis. Bei dieser hohen Verdünnung der Katalase ist also spektrophotometrisch nichts zu verzeichnen.

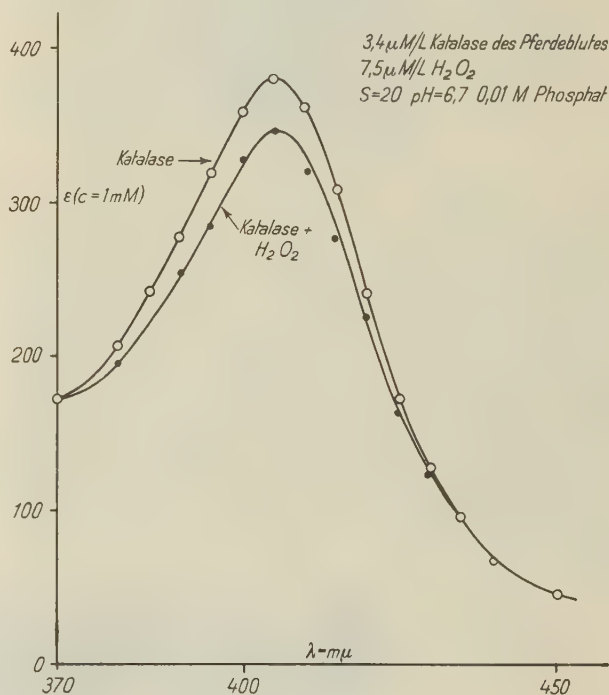
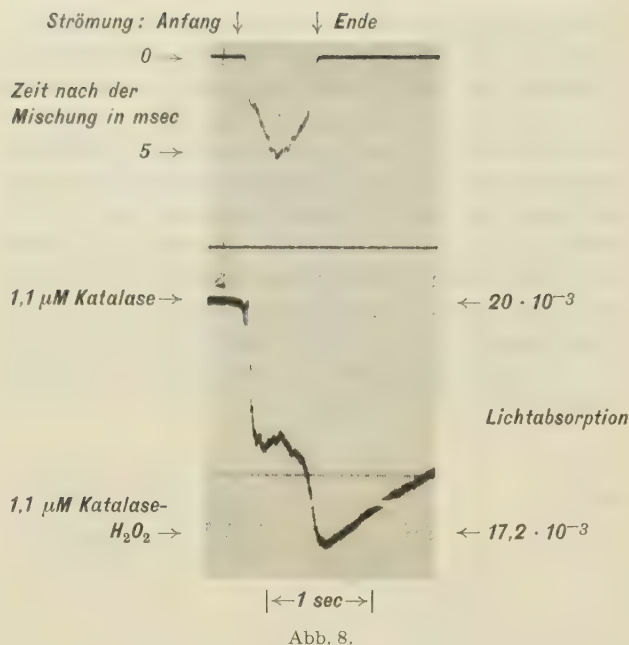


Abb. 7.

Wurde nun die Katalasekonzentration auf das 50-fache erhöht (Experiment rechts), so ist das Bild ein ganz anderes. Die Platinelektrode gibt eine kleine, in etwa einer Sekunde verschwindende Zacke (Kurve «H₂O₂»). Spektrophotometrisch wurde diesmal ein großer Ausschlag beobachtet, vom Niveau «Katalase» bis zum Niveau «Katalase-H₂O₂». Im Laufe ziemlich langer Zeit geht dann der Ausschlag allmählich zum Katalaseniveau zurück. Dieser Versuch ist so zu deuten, daß Katalase und H₂O₂ eine bisher nicht beobachtete Verbindung bilden, wobei die Lichtabsorption bei 405 mμ um etwa 10% abnimmt.

Die Abb. 7 zeigt die Soret-Banden der Katalase bzw. der H_2O_2 -Verbindung.

Die Abb. 8 zeigt einen Versuch von CHANCE mit der «stream-flow»-Methode. Oben ist also die Strömungsgeschwindigkeit in der Kapillare registriert. Die ganze Dauer der Durchströmung betrug in diesem Falle 0,6 Sek. Während dieser Zeit stellte sich die Licht-



absorption auf einen Zwischenwert ein. Sobald aber die Strömung aufhörte, sank die Lichtabsorption bis zum Wert der voll entwickelten H_2O_2 -Verbindung herab. Aus diesem Experiment konnte die Geschwindigkeitskonstante der Verbindung zwischen Katalase und H_2O_2 berechnet werden, wobei der Wert $3 \cdot 10^{-7}$ M/L \cdot sec gefunden wurde. Interessanterweise stimmt diese Zahl innerhalb der Fehlergrenzen mit der Geschwindigkeitskonstante der katalatischen Zersetzung des H_2O_2 überein.

Die Abb.9 zeigt, was geschieht, wenn:

1. Katalase mit Zyanid gemischt wird (links). Die Verbindungsgeschwindigkeit der Katalase (Leberkatalase mit drei aktiven Häminen) mit Zyanid ist so niedrig, daß während der Durchströmung reine Katalase in der Kapillare vorhanden ist. Nachdem die Strömung aufgehört hat, verbindet sich das Zyanid im Laufe von etwa einer Sekunde mit den Hämatin-

gruppen. 2. Wurde nun Katalase aus der einen Spritze mit Zyanid + H_2O_2 aus der anderen Spritze gemischt, so ergab sich ein anderes Bild (rechts). Dieses Experiment sowie das vorige wurde mit der Wellenlänge $435 \text{ m}\mu$ ausgeführt. Wie aus der Abb.7 zu ersehen ist, haben bei dieser Wellenlänge die Katalase und ihre H_2O_2 -Verbindung die gleiche Lichtabsorption. Die Zyanidkatalase hat dagegen eine beträchtlich höhere. Deswegen kann man aus dem Experiment ersehen, daß bei Anwesenheit von H_2O_2 das Zyanid sich nur mit zwei von den drei Hämatinen im Katalasemolekül verbinden kann. Dies stimmt mit der Annahme, daß das dritte Hämatin mit H_2O_2 anstatt Zyanid verbunden ist. Aus diesem Experiment konnte geschlossen werden, daß die von CHANCE nachgewiesene Katalase- H_2O_2 -Verbindung ein Molekül H_2O_2 pro ein Molekül Katalase enthält.

Die Katalase- H_2O_2 -Verbindung wird, wie vorher gezeigt wurde, in Wasserlösung langsam zersetzt unter Wiedererscheinen der Katalase. Viel schneller geht die Zersetzung nach Zusatz von Akzeptoren, wie Alkoholen

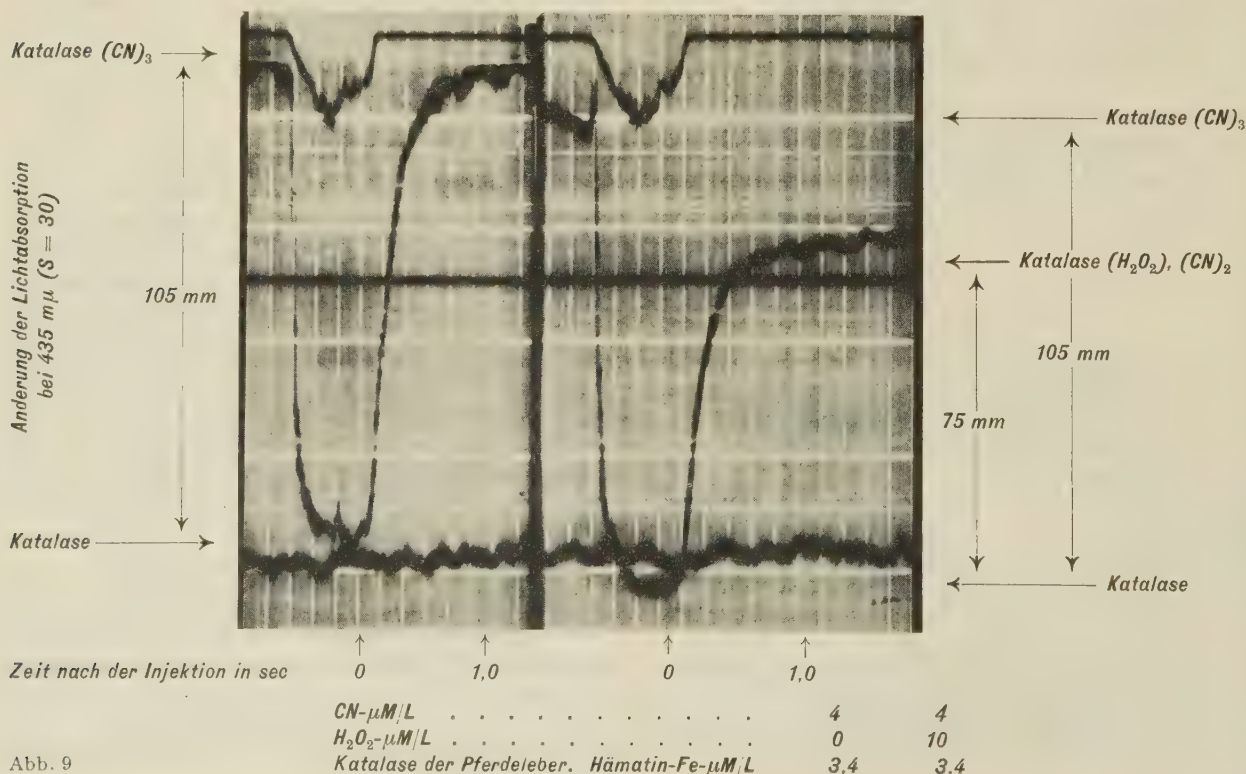


Abb. 9

oder Ascorbinsäure. KEILIN und HARTREE¹ haben neulich eine Arbeit über gekoppelte Oxydationen unter Mitwirkung von Katalase veröffentlicht. Der Mechanismus dieser gekoppelten «Oxydation» wurde

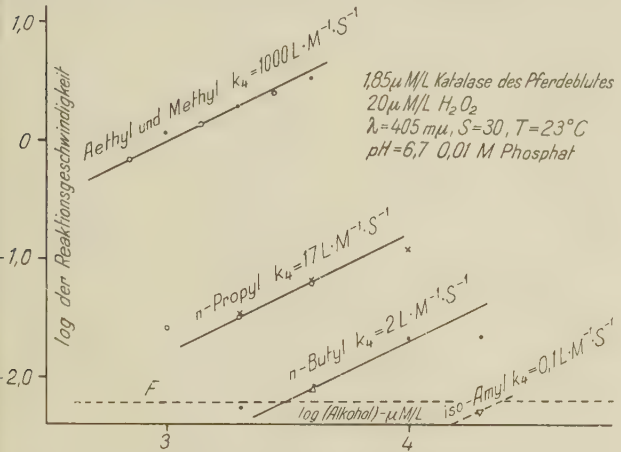


Abb. 10. Oxydationsgeschwindigkeit verschiedener Alkohole durch Katalase-H₂O₂. F = innerhalb der Fehlergrenzen gleich der spontanen Zersetzungsgeschwindigkeit.

durch CHANCES Befund aufgeklärt. Anstatt einer «gekoppelten Oxydation» findet eine reine Peroxydase-wirkung der Katalase statt. Nach den allerletzten Ergebnissen scheint die Analogie zwischen der peroxydatischen Wirkungsweise der Katalasen und der Peroxydasen überraschend vollständig zu sein. In beiden Fällen addiert ein Enzymmolekül ein Molekül H₂O₂, wobei die Bindungsart des Eisens ionisch bleibt (grünliche Verbindungen mit Absorptionsbanden um 650

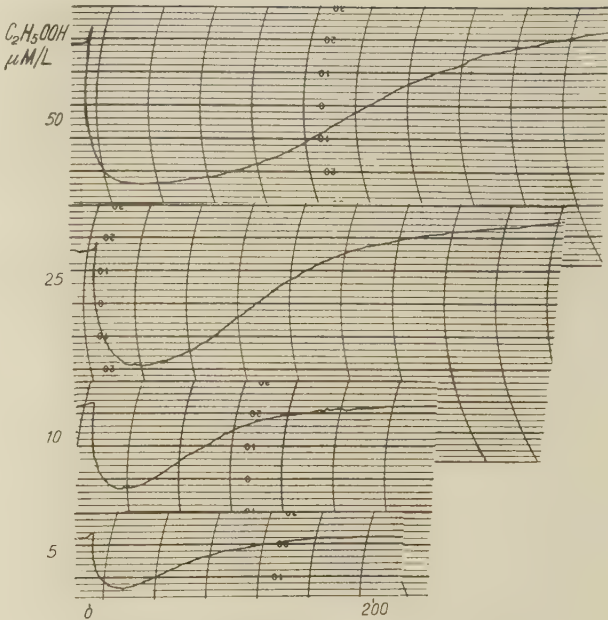


Abb. 11. Zeit nach der Injektion in sec. 1,9 μM/L Katalase der Pferdeleber - λ = 405 mμ S = 30 0,01 M Phosphat pH = 6,7

mμ¹). Von dieser Enzym-H₂O₂-Verbindung werden dann verschiedene Akzeptoren schnell oxydiert. Die Abb.10 gibt über die Kinetik der peroxydatischen Reaktion von Alkoholen mit Katalase-H₂O₂ Aufschluß. Man ersieht daraus u.a., daß Methanol und Äthanol viel schneller als die übrigen oxydiert werden. Die Katalasen geben auch Verbindungen mit Methyl- und Äthylhydroperoxyd. Die Anlagerung zur Katalase verläuft bedeutend langsamer als mit H₂O₂ (Abb.11).

¹ D. KEILIN und E. F. HARTREE, Biochem. J. 39, 293 (1945).

¹ H. THEORELL, Ark. Kem. Min. Geol. 16A, N:r 3 (1942).

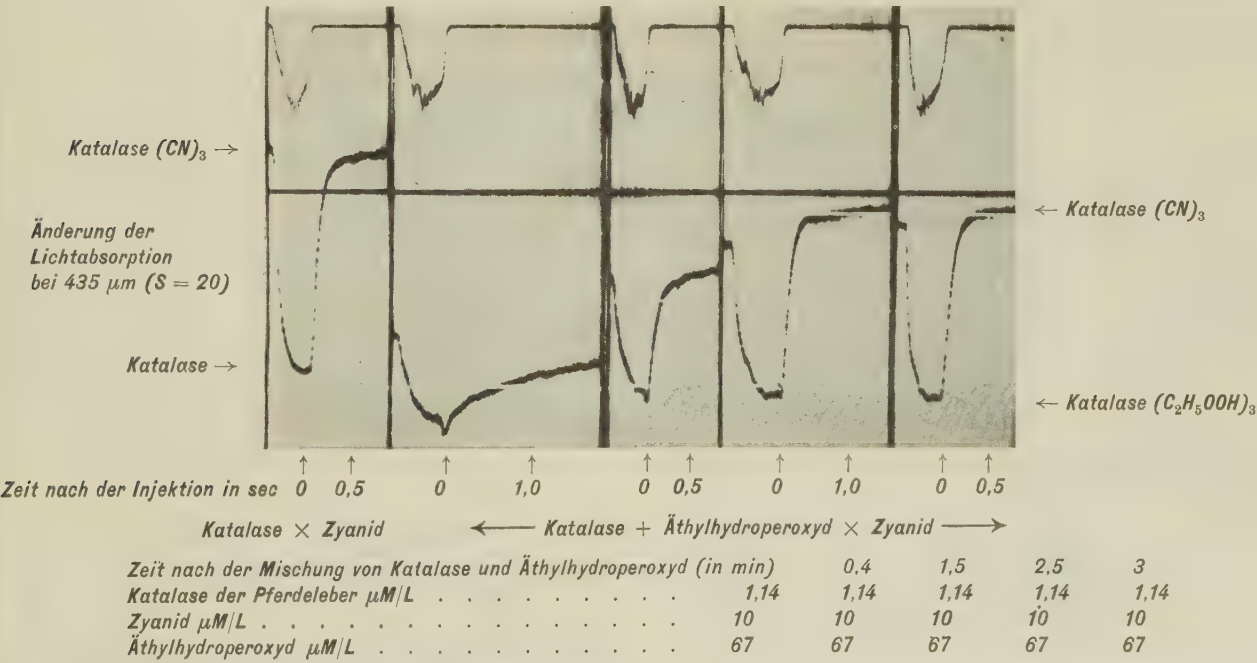


Abb. 12. S = 20; Empfindlichkeit des Galvanometers. Das Zeichen × bedeutet: «In der Kammer Abb. 4 gemischt mit».

Ein anderer Unterschied besteht darin, daß sich die Alkylhydroperoxyde mit allen vier Protohämatinen des Katalasemoleküls verbinden. Blockiert man also diese vier Eisenatome zuerst mit Äthylhydroperoxyd und mischt dann mit Zyanid im Apparat von CHANCE,

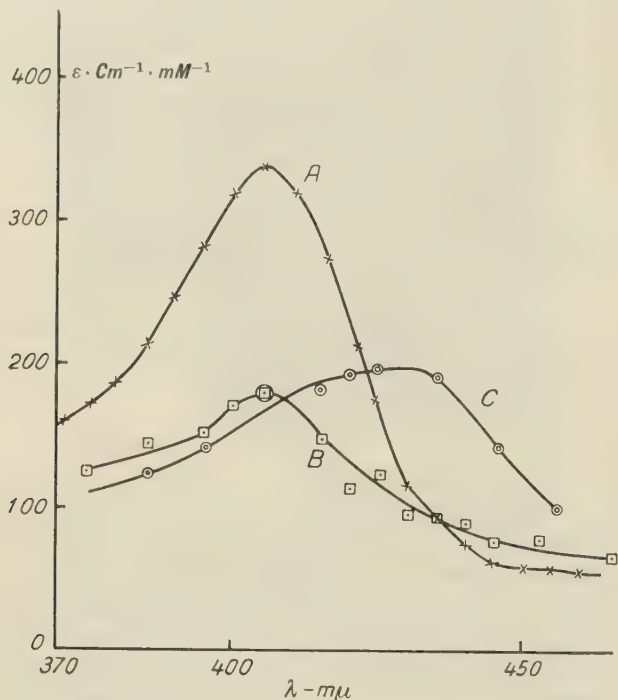


Abb. 13.

so wird keine Zyanidkatalase gebildet (Abb. 12, zweites Experiment von links). Wartet man, bis mehr oder weniger von der Alkylperoxydkatalase zerfallen ist, so wird wieder Zyanidkatalase gebildet (Abb. 12, drei Experimente rechts).

Die Abb. 13 zeigt die Soret-Banden der freien Katalasen (A), die nach Zusatz von Alkylhydroperoxyd zuerst gebildeten grünlichen Verbindungen (B) und der rötlichen Alkylhydroperoxydkatalase, die sekundär aus B gebildet wird. Genau so wie bei der Meerrettich-

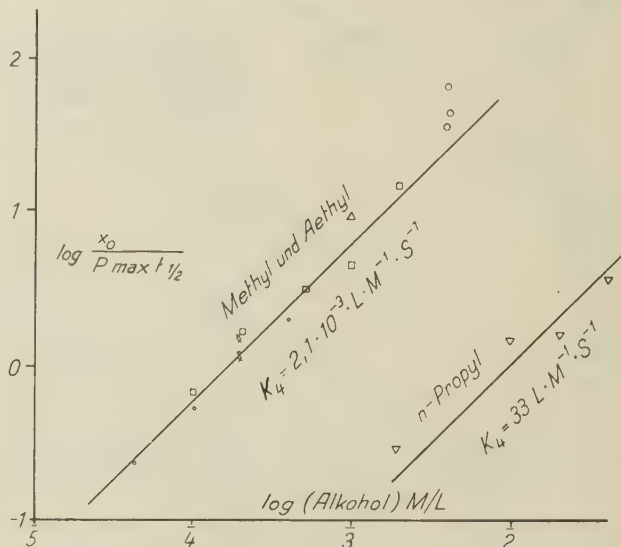


Abb. 14. $1 \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{S}^{-1}$ bedeutet: Liter pro Mol und Sekunde. Ordinate: \log_{10} der Reaktionsgeschwindigkeitskonstante für Reaktionen von diesem Typ (s. B. CHANCE, J. Biol. Chem. 151, 553 [1943]).

peroxydase nach Zusatz von H_2O_2 (THEORELL,¹) erhält man nach dem Ergebnis von CHANCE mit Alkylhydroperoxyd + Katalase zuerst eine mehr grünliche, sekundär eine rötliche Verbindung.

Die primären Katalasealkylhydroperoxyd-Verbindungen reagieren mit Methanol und Äthanol ungefähr ebenso schnell wie Katalase- H_2O_2 (Abb. 14).

¹ H. THEORELL, Ark. Kem. Min. Geol. 16A, N:r 3 (1942).

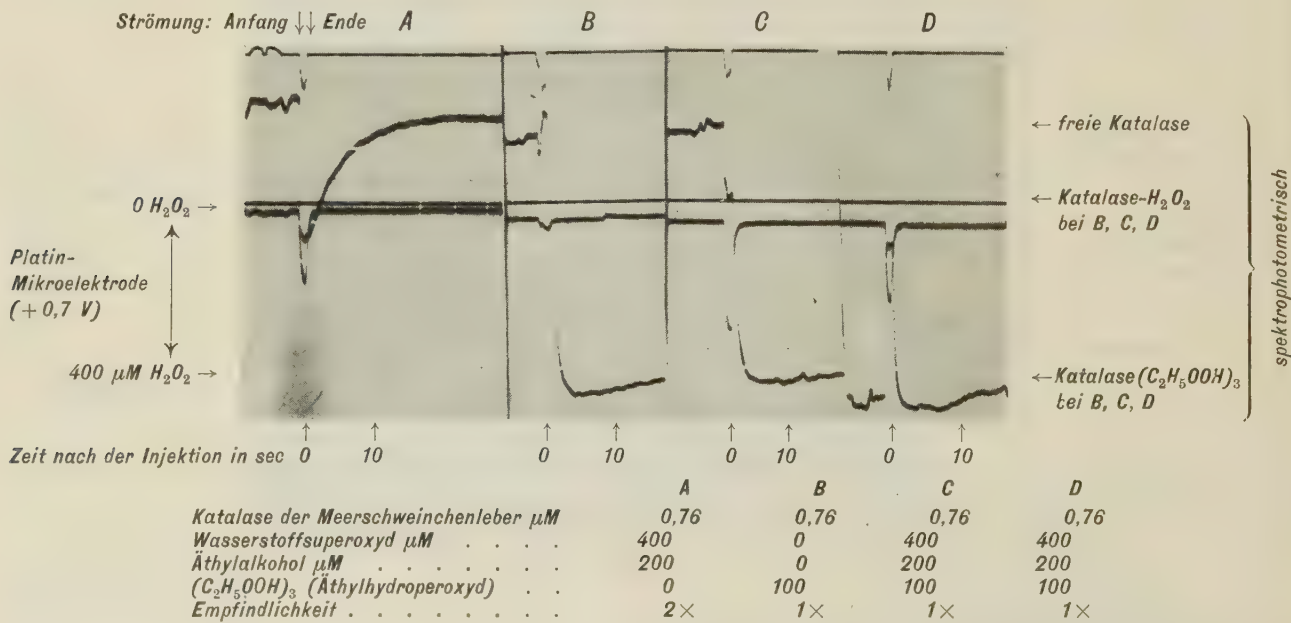


Abb. 15. $\lambda = 405$, $S = 10$, $p_{\text{H}} = 6,5$, $0,01 \text{ M}$ Phosphat

Katalase, gemischt mit Substraten in Kapillare

Katalase, zuerst mit $(\text{C}_2\text{H}_5\text{OOH})_3$ und anschließend mit Substraten gemischt

Übersicht über die reaktionskinetischen Werte von Hämoproteiden*

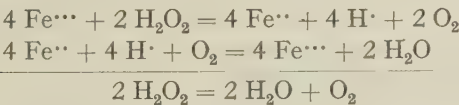
Hämoprotein	Reagens	Zusammen- setzung der Komplex- verbindungen	Bildung (L·M ⁻¹ ·s ⁻¹)	Rever- sibler Zerfall (S ⁻¹)	Spontaner irrever- sibler Zerfall	Peroxy- datische Reaktion (L·M ⁻¹ ·s ⁻¹)	Ange- wendeter Akzeptor	Wahrscheinl. Art des Komplexes ²	
								Wertig- keit des Fe	Bindungs- art
Hämoglobin ¹⁾	Sauerstoff	Hb (O ₂) ₄	4,1 · 10 ⁶	40	—	—	—	+ 2	kovalent
„	Kohlen- monoxyd	Hb (CO) ₄	1,3 · 10 ⁵	0,004	—	—	—	+ 2	kovalent
Myoglobin ¹⁾	Sauerstoff	Mgb O ₂	1,9 · 10 ⁷	37	—	—	—	+ 2	kovalent
„	Kohlen- monoxyd	Mgb CO	3 · 10 ⁵	0,04	—	—	—	+ 2	kovalent
Meerrettich- peroxydase	Wasserstoff- peroxyd	Per. H ₂ O ₂	1,2 · 10 ⁷	0,2	< 0,5	3 · 10 ⁵	Leukomala- chitgrün	+ 3	ionogen
„	Zyanid	Per. CN	9,6 · 10 ⁴	0,4	—	—	—	+ 3	kovalent
Katalase (aus Erythrozyten)	Wasserstoff- peroxyd	Kat H ₂ O ₂	3 · 10 ⁷	klein	0,02	1 · 10 ³	Äthanol	+ 3	ionogen
„	Methylhydro- peroxyd	Kat (CH ₃ OOH) ₄	1 · 10 ⁶	(0,02)	0,02	1,1 · 10 ³	Äthanol	+ 3	ionogen
„	Äthylhydro- peroxyd	Kat (C ₂ H ₅ OOH) ₄	2 · 10 ⁴	(0,02)	0,04	2,2 · 10 ³	Äthanol	+ 3	ionogen
„	Zyanid	Kat (CN) ₄	9 · 10 ⁵	klein (0,02)	—	—	—	+ 3	kovalent
„	Wasserstoff- peroxyd (katalatische Reaktion)	Kat H ₂ O ₂	3,5 · 10 ⁷	4	> 10 ⁹	—	—	+ 3	ionogen

* Temperaturen um 20° C.

Mischt man Katalasealkylhydroperoxyd mit H₂O₂, so verschwindet das Spektrum des Katalasealkylhydroperoxyds sehr schnell und wird durch das Spektrum der H₂O₂-Katalase ersetzt. Der Überschuß an H₂O₂ wird katalatisch gespalten, und sobald die Katalase damit fertig ist, verbinden sich die frei gewordenen Hämatine wieder mit Alkylhydroperoxyd (Abb. 15 D).

Einige von den bisher bestimmten kinetischen Daten mit Häminproteiden sind in der Tab. zusammengefaßt.

Man ersieht daraus, daß u. a. die Verbindungsgeschwindigkeit der Katalase mit H₂O₂ die schnellste Reaktion ist, die bisher auf das Gebiet der Hämoproteide bestimmt wurde. Trotzdem haben Berechnungen über die Häufigkeit der Kollisionen zwischen Katalase und H₂O₂-Molekülen eine Zahl ergeben, die zur Erklärung der Katalasereaktionen ohne Annahme von Kettenreaktionen mehr als ausreicht. Es ist also nach unserer Meinung theoretisch unnötig und experimentell unbegründet, in diesem Zusammenhang über Kettenreaktionen zu spekulieren. Für einen Reaktionsmechanismus nach der Gleichung von KEILIN und HARTREE



haben die hier kurz geschilderten Experimente keine Stütze ergeben.

Wir gelangen so zur Schlußfolgerung, daß die Katalasen in zweierlei Art und Weise mit dem Wasserstoff-superoxyd reagieren können; entweder wie *Peroxydase*n: dabei wird zuerst ein Mol Wasserstoffsuperoxyd von einem Mol Katalase gebunden. Dieses «intermediate compound» von BRITTON CHANCE reagiert mit Methanol und Äthanol mit einer Reaktionskonstante von 1000 M/L·sec. Aus Methanol wird Formaldehyd gebildet, der weiter oxydiert wird, wahrscheinlich zu Ameisensäure und diese zu Kohlensäure. Die Oxydation von Äthanol macht merkwürdigerweise auf der Stufe des Azetaldehyds halt.

Die grüne Verbindung zwischen 4 Mol Äthylhydroperoxyd und einem Mol Katalase oxydiert die niedrigeren Alkohole ungefähr ebenso schnell wie es CHANCES Katalase-H₂O₂ macht. Es ist von Interesse, zu bemerken, daß die Alkylperoxyde demgemäß auch in sehr niedrigen Konzentrationen in der biologischen Oxydation eine Rolle spielen können (wenn sie überhaupt gebildet werden, was noch dahingestellt sei).

STERN wies diesen Gedanken 1936 zurück, weil er nur die rote C₂H₅OOH-Katalase kannte, welche nur in der Gegenwart hoher Konzentrationen von Äthylhydroperoxyd erscheint (0,1 molar). Die grüne Verbindung aber, die STERN nicht kannte, mag von biologischer Bedeutung sein, weil sie bei sehr niedrigen Konzentrationen von C₂H₅OOH erscheint.

Die Entdeckung der intermediären H₂O₂-Katalaseverbindung und ihre Reaktionen mit Alkoholen er-

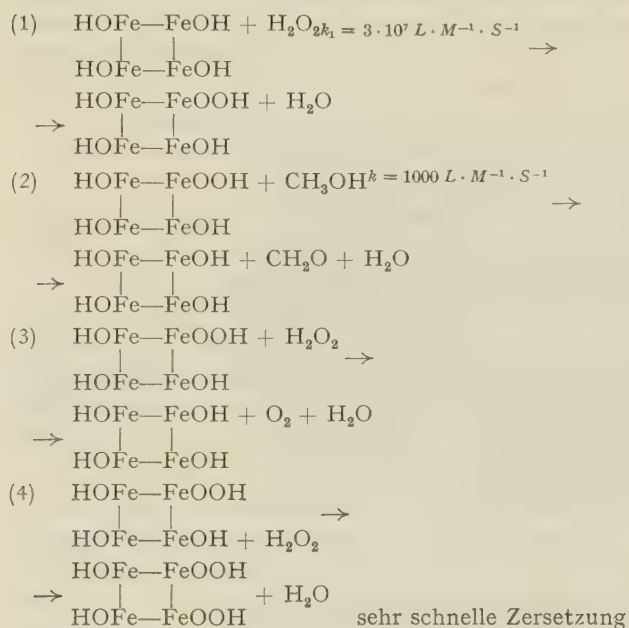
² Nach G. A. MILLIKAN, Proc. Roy. Soc. B., 120, 366 (1936).

³ Nach H. THEORELL, Ark. Kem. Geol. 16.4, N:r 1 (1942).

klärt alle die Erscheinungen, die KEILIN und HARTREE¹ als «gekoppelte Oxydationen» beschrieben haben. Diese sind also nichts anderes als *peroxydatische Reaktionen* der Katalasen in vollständiger Analogie mit den wohl-bekannten Reaktionen zwischen Peroxydase H_2O_2 und verschiedenen Akzeptoren. Nur die Akzeptorspezifität ist verschieden.

Wie kommt nun die katalatische Spaltung eines Überschusses an H_2O_2 zustande? Ich habe schon erwähnt, daß die Spaltung in einer Reaktion erster Ordnung stattfindet. Die Geschwindigkeitskonstante des Zerfalls ist gleich der Konstante für die Bildung von CHANCES Katalase- H_2O_2 . Man könnte daran denken, daß eines von den vier Eisenatomen des Katalasemoleküls andere Eigenschaften hätte als die übrigen, so daß nur dieses Fe-Atom H_2O_2 zu einer verhältnismäßig stabilen Verbindung anlagern könne, die anderen aber nicht. Dies scheint aber nicht der Fall zu sein, weil z.B. die Titration der Katalase mit Zyanid eine spektrophotometrische Änderung der Lichtabsorption gibt, die geradlinig verläuft. Die Änderung der magnetischen Suszeptibilität verläuft dabei ebenfalls geradlinig. Die Geschwindigkeit der Verbindung der Alkylhydroperoxyde mit Katalase und die peroxydatische Wirkung ist für alle vier Eisenatome die gleiche. Aus diesen Umständen ziehen wir die Schlußfolgerung, daß die Eisenatome gleichwertig sein müssen.

Formelmäßig lassen sich die Bildung der H_2O_2 -Katalase von CHANCE (1), ihre peroxydatische Reaktion mit Methanol (2) und unsere jetzige Arbeitshypothese über den Mechanismus der katalatischen Zersetzung von H_2O_2 (3 und 4) folgendermaßen ausdrücken:



Die Gleichungen 3 und 4 haben zur Voraussetzung, daß die H_2O_2 -Katalase bei der Spaltung des H_2O_2 mit-

wirkt, was sehr wahrscheinlich ist, weil die vier Eisenatome nach dem oben Gesagten ebenbürtig sind. Ob die Spaltung nach der Gleichung 3 oder 4, oder auf beide Weisen verläuft, können wir noch nicht entscheiden. Für eine Reaktion nach der Gleichung 3 spricht z.B. das in der Abb. 15 wiedergegebene Experiment, welches zeigte, daß die Katalase- $(C_2H_5OOH)_4$ mit H_2O_2 schnell reagiert.

Man könnte dann aber fragen, warum die Peroxydasen keine nennenswerte katalatische Wirkung haben. Die Peroxydasen geben doch Verbindungen mit H_2O_2 , die beim Zusammenstoß mit einem freien Molekül H_2O_2 katalatische Spaltung ergeben könnten. Die Antwort darauf, warum das nicht geschieht, ist nicht restlos klar. Wenn es sich durch weitere Experimente herausstellen würde, daß die katalatische Spaltung von H_2O_2 ganz oder hauptsächlich nach der Formel 4 vor sich geht, versteht man ja andererseits ohne weiteres, warum die Peroxydasen H_2O_2 nicht spalten, weil sie ja, soweit bis jetzt bekannt ist, nur 1 Fe pro Mol enthalten. Eine *intramolekulare* Spaltung von zwei an verschiedene Eisenatome im *selben* Katalasemolekül angelagerten H_2O_2 -Molekülen kann offenbar bei den Peroxydasen nicht stattfinden.

Schließlich ergibt sich die folgende Frage: Welche von den beiden Wirkungsweisen der Katalasen, die peroxydatische oder die katalatische, ist physiologisch am wichtigsten? Sind die Katalasen dafür da, um einen Überschuß von H_2O_2 aus den Zellen zu entfernen, oder ist ihre Hauptaufgabe, gewisse Substrate peroxydatisch zu verbrennen?

Wir können die Sache anders ausdrücken: die Katalasen wirken immer wie Peroxydasen. CHANCES Intermediärprodukt oxydiert entweder H_2O_2 oder Alkohole, oder beide, wenn sie gleichzeitig anwesend sind. Ob die katalatische Spaltung vorkommt, beruht also einfach darauf, ob H_2O_2 in Überschuß gebildet wird. Ob das im allgemeinen der Fall ist, können wir noch nicht sagen. Aus AGNERS¹ neuesten Versuchen über die Oxydation des Methanols im lebenden Meerschweinchen läßt sich berechnen, daß die H_2O_2 -Bildung in der Leber so langsam ist, daß nicht einmal das ganze peroxydatische Wirkungsvermögen der Leberkatalase in Anspruch genommen wird.

Wir neigen also der Auffassung zu, daß die physiologische Wirkungsweise der Katalasen analog derjenigen der Peroxydasen ist. Dann versteht man zwei Tatsachen, die vorher unverständlich erschienen:

1. Warum der Katalasegehalt mancher Organe sehr hoch ist — dies ist notwendig, weil die peroxydatische Wirkung nicht sehr schnell ist.

2. Wie die Natur es vermeidet, Energie bei der katalatischen Spaltung von H_2O_2 zu Sauerstoff und Wasser nutzlos zu verschwenden.

¹ D. KEILIN und E. F. HARTREE, Biochem. J. 39, 293 (1945).

¹ K. AGNER, Acta physiol. Scand. 13, 87 (1947).

Summary

Recent experiments carried out in the author's laboratory on the composition and working mechanism of catalases have shown that:

(1) The protein component of blood and liver catalases from horse are identical, as proved by amino acid analyses and immunological tests (R. K. BONNICHSEN).

(2) The biliverdin content of liver catalases is a post-mortem artefact. By using suitable preparative methods BONNICHSEN was able to prepare liver catalases practically free from biliverdin.

(3) The activity values found by the titration method formerly used are too low and uncertain, owing to inactivation of the catalase during the determination. Extrapolation to $t = 0$ does not give correct results. By increasing the catalase concentration and by decreasing the reaction time activity values were obtained which were independent of time, catalase and hydrogen peroxide concentration. The "Kat. F." of all biliverdin-free catalases investigated so far is about 80,000 at 20°, corresponding to an activity constant of $k_1 = 3,5 \cdot 10^7$ Liters \cdot Mol $^{-1} \cdot$ Sec $^{-1}$. Contrary to the results of previous authors no MICHAELIS' constant exists for catalase (BONNICHSEN, CHANCE, and THEORELL).

(4) B. CHANCE, using a highly developed HARTRIDGE-ROUGHTON-MILLIKAN technique ("spectrophotom. with time resolution"), was able to demonstrate the formation of a comparatively stable compound of one mol H_2O_2

with one mol of catalase. Since one catalase molecule contains 4 hematin iron atoms, 3 were left free to combine with ions such as cyanide. The H_2O_2 -catalase has a *peroxidatic* activity towards lower alcohols and ascorbic acid. This finding explains the "coupled oxidations" described by KEILIN and HARTREE.

(5) Alkyl hydroperoxides from compounds with all four catalase hematins (CHANCE). Greenish compounds are formed primarily, red ones secondarily in strict analogy with the horse radish *peroxidase*- H_2O_2 compounds (THEORELL).

(6) Kinetic data were determined for the reactions under (4) and (5).

(7) Catalytic decomposition of H_2O_2 in excess of 1 mol per mol catalase may occur either by the attachment of a second mol of H_2O_2 to a free hematin in catalase- H_2O_2 -complex, or by the reaction of catalase- H_2O_2 with H_2O_2 in some other way, so that O_2 is liberated. No indication of an oxidation-reduction cycle was found.

(8) It is unnecessary to assume that any chain reaction is involved in catalytic decomposition.

(9) If it is assumed that the peroxidatic mode of action of catalases prevails under physiological conditions one can understand (a) why the catalase concentration in many organs is much higher than would be necessary for the decomposition of H_2O_2 ; (b) how Nature avoids the waste of energy that would result from the decomposition of H_2O_2 into oxygen and water.

Brèves communications - Kurze Mitteilungen Brevi comunicazioni - Brief Reports

Les auteurs sont seuls responsables des opinions exprimées dans ces communications. - Für die kurzen Mitteilungen ist ausschließlich der Autor verantwortlich. - Per le brevi comunicazioni è responsabile solo l'autore. - The editors do not hold themselves responsible for the opinions expressed by their correspondents.

Azione riducente dei raggi X su soluzioni di bleu di metilene¹

Numerose sono le esperienze volte a spiegare il meccanismo attraverso il quale i raggi X esercitano la loro azione chimica e biologica. Ed è incerto il modo onde nell'acqua stessa le radiazioni ionizzanti determinino reazioni chimiche. Tra le principali ricerche ricorderemo quelle di FRICKE² che usò sostanze inorganiche e organiche semplici e quelle di DALE³ che si servì di enzimi. Tutte queste attività delle radiazioni su soluzioni acquose diluite sono *indirette* in quanto le molecole reagenti del soluto non sono state direttamente eccitate o ionizzate dalle radiazioni, come ammette la Treffertheorie o Targettheorie, ma il loro comportamento dipende dall'eccitazione o ionizzazione delle molecole del solvente. WEISS⁴ ha suggerito l'ipotesi che l'acqua at-

tivata dalle radiazioni risulti di radicali H e OH e ricerche probatorie, anzi concludenti, sono state effettuate da FORSSBERG¹ il quale irradiò soluzioni di catalasi.

Noi ci siamo proposti di studiare la riduzione del bleu di metilene attraverso il meccanismo della ionizzazione dell'acqua. A tal fine noi abbiamo dapprima costruito una curva di taratura del bleu di metilene, con lo spettrofotometro di Pulfrich, usando il filtro S. 66,6/3,5. L'estinzione obbedisce alla legge di LAMBERT-BEER e abbiamo calcolato $\lg \alpha = 1,339$. Vorremmo ricordare a questo punto che i potenziali di ossido-riduzione di soluzioni irradiate di bleu di metilene sono stati studiati da LOISELEUR².

Noi abbiamo irradiato in atmosfera d'azoto 10 cm³ di soluzioni n/100000 e n/50000 di bleu di metilene, in provetta in vetro neutro Murano non contenente elementi ad alto peso atomico, come controllammo radiograficamente. L'apparecchio usato era un Gorla-Siama, tubo A.E.G., 120 kV, 3 mA, 40 r/m, D.F. 30 cm, senza filtro³.

¹ Desideriamo esprimere la nostra gratitudine alla Dott. MARIA BASSI la cui collaborazione fu preziosa durante lo svolgimento di queste esperienze.

² H. FRICKE, E. J. HART e H. P. SMITH, J. Chem. Phys. 6, 229 (1938).

³ W. M. DALE, Biochem. J. 34, 1367 (1940); Brit. J. Radiol. 16, 171 (1943).

⁴ J. WEISS, Nature 153, 748 (1944).

¹ A. FORSSBERG, Acta Radiol. 27, 281 (1946); Nature 159, 308 (1947).

² J. LOISELEUR, Bull. Soc. Chim. biol. 25, 21 (1943).

³ Dell'apparecchio concesso a nostra disposizione dall'Istituto di Radiologia dell'Università di Milano andiamo grati al Prof. PERUSSIA.

Il numero delle molecole di bleu di metilene ridotte dopo la somministrazione delle dosi furono le seguenti:

Tabella I

Dose in r	Molecole ridotte/cm ³	Quoziente ionico M/N per paio di ioni
1 200	2,44 · 10 ¹⁴	0,126
3 600	1,38 · 10 ¹⁵	0,238
6 000	2,105 · 10 ¹⁵	0,219
8 300	2,44 · 10 ¹⁵	0,182
10 000	3,09 · 10 ¹⁵	0,192

Poiché si accetta generalmente che 1000 r producono 1,61 · 10¹⁵ paia di ioni per cm³ d'acqua abbiamo dunque potuto calcolare il quoziente ionico (ionic yield).

L'irradiazione di una soluzione questa volta alcoolica di bleu di metilene con 10 000 r nelle condizioni sopra descritte non ha esercitato alcuna azione riducente. Abbiamo poi studiato se alcune sostanze aggiunte alle soluzioni acquose potessero determinare un'azione protettiva, come dalle esperienze di FORSSBERG¹ sulla catalasi, concludenti che tale azione è esercitata da sostanze non sature (p. es. acido fumarico e maleico) che reagiscono con i prodotti dell'acqua attivata.

Tutte le soluzioni furono irradiate con 10 000 r: non abbiamo potuto studiare l'influenza dell'aggiunta di cisteina perché questa sostanza di per sé è altamente riduttrice del bleu di metilene: i risultati per le sostanze da noi studiate furono i seguenti:

Tabella II

Sostanza	Concentrazione (mM)	Molecole ridotte · 10 ¹⁸	Quoziente ionico M/N per paio di ioni
NaCl isotonico . .	1,45	2,44	0,1515
Acido malonico . .	0,1	1,54	0,0960
Cistina	0,1	0,975	0,0605
Acido succinico . .	0,1	0,81	0,0505
NaCl ipertonico .	14,5	0,65	0,0404
NaCl ipotonico . .	0,145	0,568	0,0353
Gelatina 1 % . . .	—	0,1625	0,011
Acido fumarico . .	0,1	0,0	0,0

Si può osservare che se l'acido fumarico svolge una azione perfettamente protettiva sulla riduzione del bleu di metilene, tale azione, se pure in grado minore effettuano altresì sostanze sature come l'acido malonico e succinico: perciò il meccanismo di protezione dall'acqua attivata prospettato dal FORSSBERG² non può essere trasferito alla reazione radio-chimica da noi studiata.

E. GALICO e B. CAMERINO

Istituto nazionale per lo studio e la cura dei tumori e Laboratori ricerche Farmitalia, Milano, il 23 dicembre 1947.

Zusammenfassung

Die Verfasser beweisen, daß Röntgenstrahlen eine wässrige, nicht aber eine alkoholische Methylenblaulösung reduzieren. Das spricht für die Theorie der indirekten Wirkung der ionisierenden Strahlung. Als ioni-

sche Ausbeute dieser Versuche wurde etwa 0,2 gefunden. Verschiedene Substanzen (und zwar gesättigte und ungesättigte Verbindungen) schützen in verschiedenem Ausmaß das Methylenblau vor der Wirkung des aktivierten Wassers.

Zur Biogenese des Lignins

(Über das Lignin etiolierter Kartoffelkeimlinge)

Während die Verholzung keimender Pflanzen von botanischer Seite schon mehrfach bearbeitet wurde, liegen darüber noch kaum irgendwelche chemische Befunde vor. Wir haben nun untersucht, ob in der etiolierten, d. h. der im Dunklen unter Ausschluß der Photosynthese keimenden Kartoffelpflanze eine Verholzung sowohl chemisch als auch botanisch nachzuweisen ist.

P. KLASON¹ berichtet, daß sich etiolierte Kartoffelkeimlinge botanisch nicht anfärben lassen, aber einen nach Behandlung mit Schwefelsäure unlöslichen, ligninartigen Körper ergeben. Dieser enthält im Gegensatz zum normalen Lignin entweder gar kein oder nur sehr wenig Methoxyl. Daraus schließt er, daß für die Bildung von Methoxylgruppen der bei der Photosynthese entstehende Formaldehyd verantwortlich sei. Eine Nachprüfung dieser Angaben erschien wünschenswert, da man auf diese Art einen guten Einblick in die synthetischen Fähigkeiten der Pflanzenzelle unter Ausschluß des laufenden photosynthetischen Assimilationsvorganges gewinnen kann. Über die Bildung verschiedener anderer Pflanzenstoffe in Etiolements liegen schon einige Untersuchungen vor².

Die wasserleitenden Elemente konnten wir, wie in den nachfolgenden Schnitten gezeigt wird, durch die gebräuchlichen Ligninreagenzien (Phloroglucin-Salzsäure, Anilinsulfat, Reaktion von MÄULE) eindeutig anfärben. Abb. 1 stellt einen Querschnitt und Abb. 2 einen Längsschnitt bei etwa 80facher Vergrößerung dar.

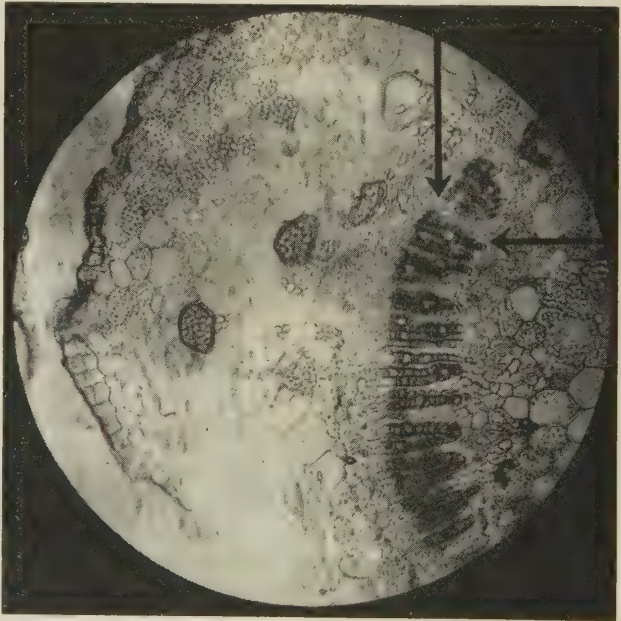


Abb. 1.

¹ A. FORSSBERG, Acta Radiol. 27, 281 (1946); Nature 159, 308 (1947).

² A. FORSSBERG, Acta Radiol. 27, 281 (1946); Nature 159, 308 (1947).

¹ P. KLASON, Cellulosechemie 10, 113 (1932).

² H. K. BARRENSCHEEN, J. PANY und E. SRB, Biochem. Z. 310, 285 (1942).

Der chemische Nachweis, daß es sich hier tatsächlich um Lignin handle, war schwerer zu führen. Die chemische Definition des Lignins ist heute zwar noch umstritten. A. v. WACEK¹ postuliert folgende Bedingungen, die eine Substanz erfüllen muß, um als Lignin angesprochen zu werden:

1. Das Lignin ist ein N-freier, hochmolekularer Stoff, der Methoxylgruppen enthält und an dessen Aufbau Derivate des Phenylpropane maßgeblich beteiligt sind.

2. Durch Säurebehandlung wird eventuell lösliches Lignin in mehr oder minder unlösliche Körper umgewandelt.

3. Beim oxydativen Abbau des Lignins, sei es löslich oder unlöslich, muß das aromatische System in Form der entsprechenden Abbauprodukte (Vanillin, Syringaldehyd) nachweisbar sein.

Wir wollen uns im folgenden an diese Definition halten.

Es war somit festzustellen, ob aus etiolierten Kartoffelkeimlingen ein Körper isoliert werden kann, der Methoxyl enthält, mit Säuren unlöslich wird und sich zu den genannten aromatischen Körpern abbauen läßt.

Die übliche Ligninbestimmung mit konzentrierten Säuren erwies sich bei den Keimlingen, die ja als lebende Zellen mit großen Mengen Protoplasma erfüllt sind, als nur mit Vorsicht anwendbar. Tatsächlich enthielten die auf diese Art erhältlichen Reaktionsprodukte über 6% Stickstoff, waren also mit anderen N-reichen Substanzen verunreinigt, womit Angaben von R. S. HILPERT² bestätigt werden. Nach einer Methode von T. PLÖTZ³ läßt sich der Säureligningehalt durch Reihenversuche mit Säuren verschiedener Konzentration ziemlich genau ermitteln. Der wahre Gehalt an Säurelignin liegt bei einem Minimum an Unlöslichem («Lignin») und einem Maximum an Methoxylgehalt.

Wir bestimmten nach dieser Methode den Ligningehalt der Keimlinge. Aus der Kurve (Abb. 3) ist ersichtlich, daß bei einer Konzentration von 50–57% Schwe-

felsäure ein Maximum an Methoxyl bei einem Minimum von Unlöslichem («Lignin») erhalten wird.

Der Säureligningehalt der Keimlinge beträgt etwa 14% mit einem Methoxylgehalt von 4,2–4,4%. Er ist also vergleichsweise recht hoch und entspricht etwa einem Drittel des Methoxylgehalts der ausgereiften Staude. Die unterbrochen gezeichnete Kurve zeigt eine entsprechende Bestimmung an der gereiften Kartoffelstaude (ohne Blätter). Der Säureligningehalt beträgt etwa 15% mit 13,4% Methoxyl und 2% N, also entsprechend dem geringeren Protoplasmagehalt der Zellen nur ein Drittel des N-Gehaltes der Keimlinge.

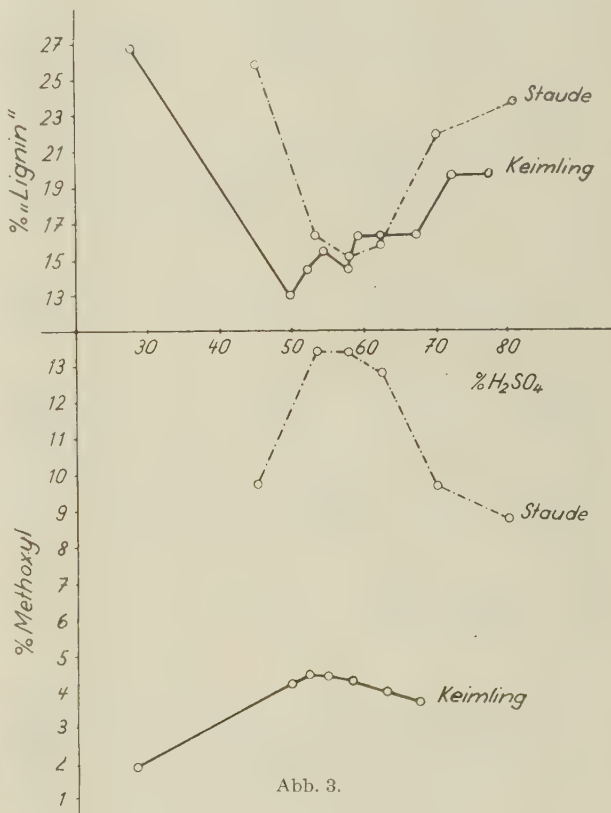


Abb. 3.

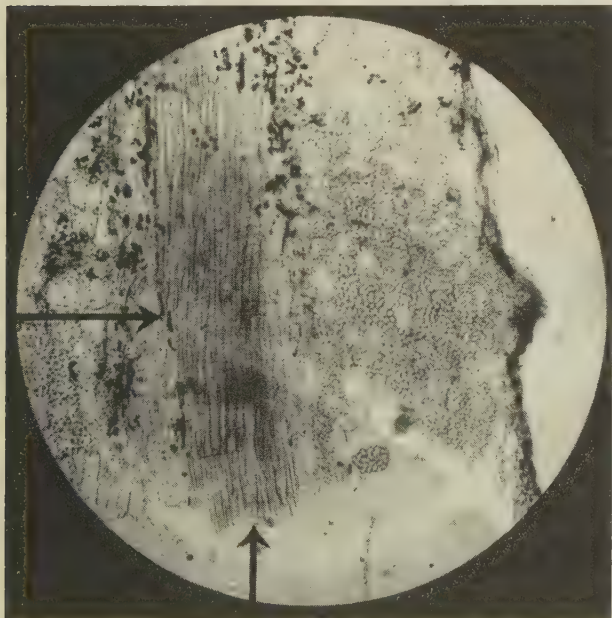


Abb. 2.

Im Gegensatz zu den Angaben P. KLASONS¹ war es also gelungen, die Färbung mit Ligninreagenzien zu erhalten und auch einen nicht unbeträchtlichen Methoxylgehalt festzustellen.

Die Überprüfung der dritten Bedingung, der Nachweis aromatischer Abbauprodukte, erwies sich deshalb als besonders schwierig, weil das als Endkörper zu erwartende Vanillin auch als solches oder als Glukosid in keimenden Pflanzen vielfach verbreitet ist². Vor Durchführung der Abbaureaktionen mußte dieses daher durch mehrmalige Extraktion und Hydrolyse entfernt werden, ohne daß dabei wesentliche Mengen des Lignins in Lösung gingen.

Die derart vorbehandelten Keimlinge ergaben beim oxydativen Druckabbau mit Alkali und Nitrobenzol Vanillin, das als gut kristallisiertes *m*-Nitrobenzhydrazon gefaßt werden konnte. Die Ausbeute an aromatischem Abbauprodukt war allerdings sehr gering und quantitative Bestimmungen werden durch den hohen

¹ A. v. WACEK, Exper. 2, 171 (1946).

² R. S. HILPERT, Ber. dtsch. chem. Ges. 69, 1509 (1936).

³ K. FREUDENBERG und T. PLÖTZ, Cellulosechemie 18, 49 (1940).

¹ P. KLASON, Cellulosechemie 10, 113 (1932).

² E. v. LIPPMANN, Ber. dtsch. chem. Ges. 45, 3432 (1912); 52, 905 (1919). – W. BRÄUTIGAM, Arch. Pharm. 238, 555 (1900); Chem. Zbl. 1900, II, 983.

N-Gehalt der verarbeiteten Substanzen erschwert. Wir konnten auch neben dem Vanillin Syringaaldehyd, den wir eigentlich nach den Ergebnissen von H. HIBBERT¹ erwarteten, nicht nachweisen, was wir allerdings der Aufarbeitungsmethode zuschreiben, da wir unter den gleichen Bedingungen aus der Stauden ebenfalls nur Vanillin isolieren konnten.

Aus dem Verhältnis des Gesamtmethoxyls zum Methoxylgehalt der Abbauprodukte sowie daraus, daß wir nachweisen konnten, daß bei der Bestimmung der Säurelignine 50 % des Methoxyls wasserlöslich wird und bei Heißwasserextraktion 30 % des Methoxyls ebenfalls in wasserlöslicher Form entfernbar ist, leiten wir die Vermutung ab, daß in den Keimlingen wasserlösliche, methoxylhaltige Körper vorkommen, die eventuell als biologische Vorstufen des Lignins angesehen werden können.

Nach diesen Versuchen kann offenbar die Verholzung der Pflanze von der Photosynthese unabhängig verlaufen und das Lignin des Etiolements scheint im chemischen wie im botanischen Sinne in den wesentlichsten Punkten dem der ausgereiften Pflanze zu entsprechen.

K. KRATZL

I. chemisches Laboratorium der Universität Wien, Organische Abt. und Abt. für Chemie des Holzes, Oktober 1947.

Summary

Potato germs grown in absence of light contain a substance which doubtless can be classified as lignin. This statement, though contradictory to the findings of P. KLASON, may be proved by microscopic staining methods as well as by chemical analysis. It is concluded that photo-energy is not necessary for the formation of lignin.

¹ R. H. J. CREIGHTON, R. P. GIBBS und H. HIBBERT, J. Am. chem. Soc. 66, 32 (1944).

Effects of Lithium Cation and of Thiocyanate Anion on the Viscosity of Solutions of Proteins from Eggs and Embryos

In previous publications¹ it was shown that lithium chloride induces an increase, and thiocyanate anion a decrease, in the viscosity of solutions containing euglobulin b extracted from amphibian embryos with NEEDHAM's methods². When we consider the fact that LiCl and NaSCN modify the embryo's development in a different way³, these researches bring us to the conclusion that euglobulin b is a very important substance for embryo development. A similar effect of Li⁺ and SCN⁻ has been found³ on the viscosity of solutions containing fibrillar particles (Weber and Edsall's myosin, sodium thymonucleinate); while Li⁺ and SCN⁻ both induce an increase in the viscosity of solutions containing round (globulin X of the muscles) or short-rod particles (gelatin). REBUFFAT and BRACHET⁵ observed the same

reaction (increase in viscosity induced by Li⁺, decrease induced by SCN⁻) in the extracts of nuclei of birds' red cells. When REBUFFAT and BRACHET made this observation, they raised a doubt whether a material of nuclear origin (nucleohistone), and not euglobulin b, played a part in the variations of viscosity of embryo extracts.

We made our observations on euglobulin b¹ taking the precipitate formed after diluting up to 0.3 M KCl the original extract in 1 M KCl, and dissolving this precipitate in 1 M KCl. This precipitate does not contain an appreciable amount of thymonucleic acid, because DISCHE's reaction is negative. We could therefore, according to the figures already published, conclude that euglobulin b is the substance which, in embryo extracts, shows opposite viscosity variations due to the effects of Li⁺ and SCN⁻.

For the sake of security and to remove any possible doubt we have repeated our experiments with unfertilized eggs of axolotl (*Amblystoma tigrinum* Green) and of Rhode Island red hens. The hen's eggs particularly do not contain any appreciable amount of nucleic acid, as in the birds' eggs we verify the total synthesis of nucleic acid during the embryo development, and the amount of the ribonucleoprotein in the yolk is negligible². We have also used unfertilized sea urchin's eggs (*Arbacia lixula* (L.) = *A. punctulosa* [Leske]).

Unfertilized eggs of axolotl and of sea urchin's were frozen, dried, and delipidated with alcohol and ether successively. The resulting powder was extracted with M KCl (this extract is called in the table: extract in 1 M KCl). One volume of cold bidistilled water was poured in this liquid and centrifuged. The resulting liquid was diluted to 0.3 M KCl; NEEDHAM's euglobulin b precipitated (after centrifugation this solution is called in the table: extract in 0.3 M KCl). The euglobulin b, always at 0°C, was dissolved again in M KCl (this solution is called in the table: euglobulin b). DISCHE's reaction on the euglobulin b of axolotl's eggs is absolutely negative.

We proceeded in the same way with the hen's egg (the yolk only), studying: (1) the total extract in M KCl; (2) the proteins precipitated when the extract is diluted to 0.3 M KCl; (3) the proteins dissolved in 0.3 M KCl.

In other experiences we extracted hen's egg yolk with BANGA and SZENT-GYÖRGYI's Edsall-urea¹ (we call this in the table: extract in Edsall-urea). The structure protein I was precipitated and then dissolved either with Edsall-urea or with M KCl.

With all the solutions we always proceeded in the same way, and we prepared three samples: (a) 10 ml of the protein solution were poured into 10 ml of 1 M KCl (KCl of the table); (b) 10 ml of the protein solution were poured into 9 ml 1 M KCl + 1 ml 1 M KSCN (final concentration of KSCN 0.05 M) (KSCN of the table); (c) 10 ml of the protein solution were poured into 7.2 ml 1 M KCl + 2.8 ml 1 M LiCl (final concentration of LiCl 0.14 M) (LiCl of the table). After 4 hours incubation (13-25°C) the readings of viscosity were done by CITTERIO with an Ostwald viscosimeter at 13.25 ± 0.01°C.

The figures show, in axolotl and in unfertilized hen's eggs, a protein fraction (NEEDHAM's euglobulin b of Amphibians) soluble in 1 M KCl and precipitated by adjusting the concentration of KCl up to 0.3 M. This fraction is quite distinct from nucleic acid, as is demonstrated

¹ S. RANZI, R. AROSIO, P. CITTERIO, P. MENOTTI, and F. SEMENZA, Exper. 2, 315 (1946).

² S. RANZI and E. TAMINI, Naturwiss. 27, 566 (1939). – S. RANZI, Nature 155, 578 (1945). – S. RANZI, E. TAMINI, and E. STORARI OFFER, Ist. Lombardo (Rend. Sci.) 79, 161 (1946).

³ A. S. C. LAWRENCE, M. MIALL, J. NEEDHAM, and S.-C. SHEN, J. gen. Physiol. 27, 233 (1944).

⁴ P. CITTERIO and S. RANZI, Rend. Accad. Lincei (Sci. fis.) (8) 3, 150 (1947).

⁵ P. REBUFFAT and J. BRACHET, Exper. 3, 454 (1947).

¹ R. AROSIO, P. CITTERIO, P. MENOTTI, S. RANZI, and F. SEMENZA, Riv. Biol. 38, 153 (1946).

² J. BRACHET, Embryologie chimique (Liège, Paris 1945).

³ I. BANGA and A. SZENT-GYÖRGYI, Enzymologia 9, 97 (1940).

	KCl	KSCN	LiCl
Axolotl egg:			
extract in 1 M KCl . .	1·069	1·048	1·092
euglobulin b	1·046	1·016	1·063
extract in 0·3 M KCl .	1·067	1·062	1·108
Hen's egg:			
extract in 1 M KCl . .	1·099	1·076	1·121
protein precipitated			
with dilution up to 0·3			
M KCl	1·043	1·036	1·078
extract in 0·3 M KCl .	1·067	1·066	1·111
extract in Edsall-urea	1·257	1·257	1·267
structure protein I:			
in Edsall-urea . . .	1·129	1·092	1·157
in 1 M KCl	1·099	1·089	1·149
SZENT-GYÖRGYI'S			
soluble proteins . . .	1·076	1·090	1·199
Sea urchin egg:			
extract in 0,5 M KCl .	1·107	1·097	1·119
extract in 0·3 M KCl .	1·067	1·077	1·085

by its presence in a considerable amount in both eggs and by the negative DISCHE's reaction. Thiocyanate anion induces a decrease in the viscosity of solutions of this protein fraction, and lithium cation induces an increase in viscosity. Such a result may be obtained with the solutions of SZENT-GYÖRGYI's structure protein I, which contain the same fraction. Both Li⁺ and SCN⁻ induce an increase in the viscosity of the solutions of some other protein fractions of eggs (NEEDHAM's euglobulin c, SZENT-GYÖRGYI's soluble proteins). Solutions containing euglobulin b and a considerable amount of other substances (lipids in extract in Edsall-urea of hen's egg) do not show a decrease in viscosity due to SCN⁻, probably because SCN⁻ induces an increase in the viscosity of solutions containing globular particles. It is therefore confirmed that the cytoplasm of axolotl and hen eggs contain a substance (euglobulin b of Amphibians), the solutions of which show a decrease in viscosity with SCN⁻ and an increase with Li⁺.

S. RANZI, P. CITTERIO, and M. GIUDICI

Zoological Laboratory, University of Milan, January 3, 1948.

Riassunto

Le soluzioni di euglobulina b, estratte da uova non fecondate di axolotl, e quelle di una frazione, che si può estrarre con identico procedimento dal tuorlo dell'uovo di pollo, non contengono quantità apprezzabili di impurità di origine nucleare. Esse presentano aumento di viscosità ad opera di Li⁺, diminuzione ad opera di SCN⁻, se questi ioni vengono impiegati nelle concentrazioni attive nel produrre modificazioni dello sviluppo embrionale.

Viene pertanto confermata la nostra interpretazione sul ruolo dell'euglobulina b nello sviluppo embrionale.

Réactions cytologiques
à l'introduction pulmonaire expérimentale
de particules de silicium métalloïdique

On connaît les effets nocifs de particules de silice SiO₂ (quartz, calcédoine, etc.) sur les cellules alvéolaires du

poumon. Quel que soit le mécanisme de cette nocivité, encore imprécise, sa réalité ne fait pas de doute.

Je me suis demandé si des particules identiques de silicium métalloïde présentaient une action comparable.

Du silicium pur¹ est broyé au mortier d'Abich en poussière très fine (particules inférieures à 5 μ, 15 %; de 5 à 15 μ, 80 %; supérieures à 15 μ, 5 %). Par injection intratrachéale, des suspensions de cette poussière en liquide de Tyrode sont introduites dans le poumon de cobayes. Les animaux sont sacrifiés à intervalles réguliers, de 10 minutes à 105 jours après l'injection et leurs poumons examinés histologiquement. On peut ainsi constater le déroulement des phénomènes suivants.

La pénétration des particules de silicium se fait très loin, jusqu'aux alvéoles pour les particules de 5 μ. Les plus grosses particules s'arrêtent dans les bronchioles. La réaction la plus précoce est un emphysème accentué de caractère obstructif. La dilatation emphysémateuse des alvéoles n'empêche pas la phagocytose des particules par les cellules alvéolaires et la formation de nombreuses cellules à poussières.

Un mois environ après l'arrivée des poussières, l'emphysème s'est très atténué ou a disparu. Les parois alvéolaires se sont épaissies; leurs cellules se sont multipliées. Cet épaississement des parois alvéolaires, de présence banale dans les pneumoconioses expérimentales, ne semble pas pouvoir être rattaché à une action directe du silicium, car on l'observe en des points du parenchyme ne renfermant pas de particules. Les nodules lymphoïdes intraparenchymateux, plus ou moins fréquents à l'état normal chez le cobaye, ne montrent aucune modification ni réaction particulières.

L'étude particulière de la phagocytose des particules de silicium montre les faits suivants.

La phagocytose paraît se faire dans les cellules privilégiées. Ces cellules apparaissent bourrées de particules tandis que d'autres, voisines et en apparence de même type, n'en renferment aucune.

Dans les cellules, les particules de silicium subissent une attaque et une fragmentation, surtout accentuée après 3 mois. Ces particules semblent se disloquer en fines granulations sphériques ou, plus exactement octaédriques, de 1 μ et moins, souvent disposées en files. Elles sont noirâtres ou brun sombre, avec une certaine transparence rougeâtre.

Les cellules phagocytaires ne semblent pas sensiblement altérées. Beaucoup ont leur noyau bien net. On ne rencontre jamais de cellules d'aspect momifié, incolores, comme celles constatées dans les mêmes conditions avec les particules de silice SiO₂. Le fait est tout à fait caractéristique. Même après plus de trois mois, aucune « cellule » ou « plaque à silice » (MAVROGORDATO) ne peut être constatée. Cependant, l'attaque et la dislocation des particules de silicium paraît morphologiquement évidente. Doit-on en conclure que la dissolution des particules de silicium se fait par un mécanisme ne libérant pas de silice SiO₂? Ou l'oxydation du silicium dans l'élément phagocytaire ne va-t-elle pas jusqu'au stade SiO₂ mais s'arrête à une étape intermédiaire? Des recherches ultérieures sont nécessaires pour préciser ces points. Le seul fait qui demeure certain est la différence de comportement de la cellule vis-à-vis du silicium et de la silice libre.

A. POLICARD

Institut d'histologie de la Faculté de médecine de Lyon, le 21 janvier 1948.

¹ Je remercie M. PRUVOT, de la Société A.F.C., pour m'avoir amablement procuré ce produit.

Summary

By means of intratracheal injection, particles of metallic silicium about five microns in size are introduced into the lungs of guinea pigs, and the secondary parenchymatous reactions are studied from 10 minutes to 105 days. In the dust cells, the silicium is progressively broken up into very small particles of less than 1 micron in size. The cells do not show degeneration or mummification as the ordinary silica cells (MAVROGORDATO) do.

Über einen körpereigenen Leukozytose bewirkenden Faktor

Im Verlaufe von im Jahre 1940 begonnenen systematischen Untersuchungen im physiologischen Institut der Universität Halle über körpereigene Leukozytose bewirkende Stoffe gelang es 1943, mit Hilfe von Adsorptions- und Fällungsverfahren aus menschlichem und tierischem Harn Präparate zu gewinnen, die in Mengen von 2–6 mg beim Kaninchen und anderen Tieren sowie beim Menschen¹ einen starken, langanhaltenden Leukozytenanstieg hervorrufen (Abbildung). Das Blutbild weist dabei, wie die Tabelle zeigt, eine starke Linksverschiebung auf; in vereinzelten Fällen wurden sogar Myelozyten beobachtet. Das Knochenmark (Sternalpunktion) bietet das Bild einer starken Anregung der Leukopoese. Der Erythrozyten-, Hämoglobin-, Kalzium- und Blutzuckerwert erfährt keine bemerkenswerten Veränderungen, die absolute Lymphozytenzahl nur geringfügige Schwankungen oder eine Abnahme. Kurze Zeit nach der intravenösen Injektion des *Leukerethins*, wie wir den in Frage stehenden Stoff genannt haben, findet sich eine mehr oder weniger ausgesprochene Leukopenie. Parallel damit geht eine Erhöhung der Körpertemperatur. Bei hoher Dosierung kann es zu einem kurzdauernden Schüttelfrost kommen. Die Versuchspersonen klagen zu dieser Zeit häufig über Kopfschmerzen, Knochenschmerzen und Abgeschlagenheit. Nach einigen Stunden sind diese Erscheinungen wieder verschwunden. Durch Anwen-

¹ Eigenversuche sowie Versuche an etwa 100 Studenten und Patienten. Über die therapeutischen Erfolge soll später berichtet werden.

dung niedrigerer Dosen kann der Temperaturanstieg und die Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens der Versuchspersonen vermieden werden (Fall 3 der Tabelle). Allerdings ist dann die Leukozytosewirkung abgeschwächt. Behandlung des thermostabilen Leukerethins mit Trypsin oder Salzsäure führt zu Präparaten, die keine Nebenerscheinungen mehr verursachen, deren Wirkung auf das weiße Blutbild aber voll erhalten bleibt.



Eine Gewöhnung an das Leukerethin findet nicht statt. Eine Versuchsperson, der der Faktor in Abständen von mehreren Wochen insgesamt fünfmal injiziert wurde, reagierte stets in derselben Weise mit einem Leukozytenanstieg auf über 30 000. Auffallend ist die hohe Empfindlichkeit des Menschen gegenüber dem Leukerethin. Von den reinsten Präparaten bewirken bereits Dosen von 10 γ pro Kilogramm Körpergewicht eine deutliche Leukozytose. Im Tierversuch unwirksame Dosen sind beim Menschen noch stark wirksam. Wiederholt, aber nicht regelmäßig reproduzierbar, wurden Präparate erhalten, die nur eine pyrogene oder nur eine leukopenische oder nur eine Leukozytose verursachende Wirkung besaßen. Es muß daher angenommen werden, daß im Harn drei verschiedene Stoffe vorhanden sind, von denen einer die Körpertemperatur be-

Fall Nr.	Zeit in Stunden	Leukozyten	Differenzbild, %						Temperatur	Bemerkungen
			Eosinophile	Jugendliche	Stabkernige	Segmentkernige	Lymphozyten	Monozyten		
1	0	6 800	2	—	5	61	27	5	36,6	Injektion (3 mg)
	1,5	2 000	2	—	4	55	36	3	37,4	Schüttelfrost
	3	8 000	—	1	22	65	12	—	39,6	Kopfschmerzen
	8	28 000	—	14	32	51	3	—	37,6	o. B.
	24	36 000	—	14	23	56	7	—	37,0	o. B.
2	0	5 800	3	—	2	68	24	3	36,7	Injektion (3 mg)
	1,5	2 400	—	—	10	68	22	—	37,8	Kopfschmerzen
	3	5 200	—	1	20	70	9	—	39,7	o. B.
	8	12 000	—	6	22	63	9	—	38,2	Beinschmerzen
	24	34 000	—	12	24	59	5	—	37,0	o. B.
3	0	6 000	4	—	1	53	42	—	36,6	Injektion (0,5 mg)
	4	12 400	1	—	22	63	14	—	36,8	o. B.
	10	16 400	—	—	17	66	17	—	36,7	o. B.
	21	5 800	4	—	1	59	36	—	36,6	o. B.

influsst, ein zweiter Leukopenie und ein dritter Leukozytose hervorruft. Über die Versuche wird an anderer Stelle ausführlich berichtet werden. R. ABDERHALDEN

Basel, den 26. Dezember 1947.

Summary

In 1943 the author isolated from urine a thermostable factor which causes a high leucocytosis both in man and animals. The factor is not destroyed by trypsin. The increase concerns only the granulocytes and lasts from 4 to 7 days. There is a shift to the left. In a dosis of 10 γ /kg body weight the purified preparations cause in the human organism, which is more susceptible than the animal, after a short initial leucopenia, a leucocytic increase up to 30,000–40,000 leucocytes.

Sul meccanismo di azione della streptomicina

In una precedente nota sul meccanismo di azione degli antibiotici¹, abbiamo avanzata l'ipotesi che gli antibiotici agiscano per azione competitiva con gli ioni di idrogeno e variazione del potenziale di ossido-riduzione nel mezzo, così da inibire la respirazione dei germi per blocco degli enzimi deidrogenanti o degli intermediari accettori di idrogeno.

Tale azione per la penicillina è stata dimostrata sperimentalmente oltre che da noi², dai lavori di DUFRENOY e PRATT³. Recentemente CHAIN⁴ ha ammesso come i potesi che la streptomicina agisce per competizione tra l'antibiotico e gli ioni di idrogeno; in seguito MASSART e coll.⁵ hanno trovato che la streptomicina, come i coloranti basici in generale, agiscono per spostamento dei ioni di idrogeno e formazione di complessi di adsorbimento elettrico. A tali conclusioni arriva anche COHEN⁶; questo autore ha trovato che la streptomicina si combina con l'acido nucleinico con formazione di composti di polimerizzazione.

Nella presente nota vengono esposti alcuni dati riguardanti le variazioni del potenziale di ossido riduzione indotte dalla streptomicina *in vitro* ed *in vivo*: parallelamente allo studio del livello batteriostatico nel sangue e nel liquor di ammalati di meningite tubercolare, dopo ogni singola iniezione, ed in momenti diversi di malattia.

Noi sappiamo che in un terreno di cultura come il brodo di carne, ove si sviluppano dei germi, per degradazione della struttura delle sostanze organiche si ha produzione di energia libera ed abbassamento dei valori di Eh⁷. Se seguiamo le variazioni dei valori del potenziale durante lo sviluppo di una cultura, troviamo (per es. nel brodo di carne insemato con il bacillo del tifo) che il potenziale del brodo prima dell'innesto è sui 150 mV positivi, che l'inizio dello sviluppo coincide con valori che tendono alla negatività, e che a sviluppo ultimato tali valori arrivano ai 150–300 mV negativi.

Abbiamo potuto osservare che (fig. 1), se nel momento in cui inizia lo sviluppo, cioè quando il potenziale tende a valori negativi, si aggiunge alla cultura una soluzione

di streptomicina a concentrazioni batteriostatiche variabili, a distanza di poco tempo i valori di Eh salgono tanto più rapidamente quanto più alta è la concentrazione di streptomicina adoperata mentre i germi si arrestano nel loro sviluppo.

La figura illustra i dati rappresentativi di un esperimento in cui la streptomicina è aggiunta a tubi di brodo inoculati con 5000 organismi e mantenuti in termostato per due ore. Le variazioni di Eh sono contrassegnate in:

- a, a_1 fase latente
- $b, SB_1, SB_2, SB_3, SB_4$ fase iniziale dello sviluppo
- c fase logaritmica di crescita
- S momento in cui viene aggiunta la streptomina
- c_1, c_2, c_3, c_4 variazioni di Eh dopo aggiunta di streptomina a concentrazioni variabili.

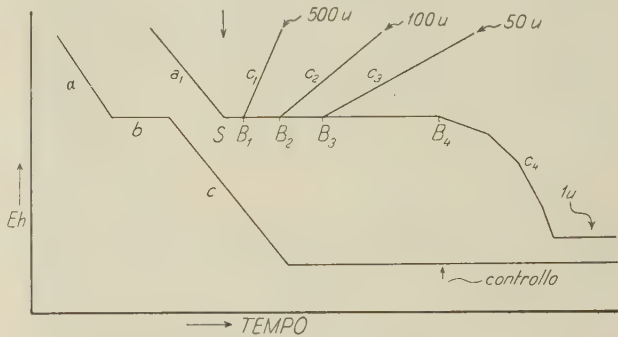


Fig. 1. Effetto della concentrazione di streptomina su Eh di crescita del *B. typhi*.

Con l'inoculazione della streptomina in S , la fase iniziale di sviluppo, contrassegnata nel controllo da b , si accorcia con 500 unità per cm^3 (SB_1), si allunga con concentrazioni più basse. L'andamento di c_1, c_2, c_3 ci indica che i valori di Eh influenzati dalla streptomina, aumentano tanto più rapidamente quanto più alte sono le concentrazioni di streptomina adoperate: l'azione della streptomina ha un periodo di latenza tanto più lungo quanto più piccole sono le concentrazioni, confronta SB_1, SB_2, SB_3, SB_4 . Con concentrazioni subbatteriostatiche (una U. cm^3) i valori di Eh si abbassano dopo un periodo di latenza prolungato SB_4, c_4 assume un andamento curvilineo. La variazioni di Eh sono l'espressione dell'assorbimento di energia libera da parte della streptomina, energia prodotta nella fase di latenza dagli enzimi deidrogenanti dei germi inoculati e necessaria per il loro accrescimento e moltiplicazione. Una quantità insufficiente nel mezzo di energia libera, determinata dagli alti valori di Eh, impedisce l'accrescimento dei germi e produce la batteriostasi.

L'aumento dei valori del potenziale di ossido-riduzione ci sta ad indicare che la streptomina ha agito per ossidazione del mezzo, cioè per assorbimento di energia libera nella cultura.

Tale concetto ci ha indotti a seguire *in vivo* su ammalati che praticavano terapia con streptomina, le variazioni del potenziale di ossido-riduzione nel sangue e nel liquor e confrontarlo con il livello batteriostatico espresso dalla zona di inibizione in piastre.

Le esperienze sono state eseguite su trenta ammalati di meningite tubercolare ove le misurazioni del potenziale venivano praticate a digiuno, dopo una singola iniezione di streptomina, sul sangue o sul liquor mantenuti al difuori del contatto dell'aria.

Per la misura del potenziale si è adoperato il metodo elettrotecnico classico, avendo come elettrodo di confronto l'elettrodo a calomelano.

Nella tabella vengono riassunti i dati riguardanti le misurazioni sul sangue, per il liquor i risultati sono sovrapponibili.

1 F. MULÈ, Comun. Accad. Med. di Roma, 20 aprile 1946.
2 F. MULÈ, Ann. Igiene 6, 298 (1946).
3 J. DUFRENOY e R. PRATT, J. Bact. 53, 657 (1947); 54, 127 (1947).
4 E. CHAIN, Conferenza all'Università di Ghent, 24 aprile 1947.
5 L. MASSART, G. PEETERS e A. VANHOUCHE, Exper. 3, 289 (1947).
6 S. S. COHEN, J. biol. Chem. 166, 393 (1946).
7 L. F. HEWITT, Oxidation-reduction potentials in Bacteriology and Biochemistry, 4th ed., London County Council, London, 1936.

the redox potential level. This oxidative effect varies in degree according to the condition of the patient.

We also found that in the blood and in the spinal fluid of patients suffering from tubercular meningitis factors are present which inhibit the action of streptomycin.

The results of our findings lead to the conclusion that the dose of streptomycin must be varied according to the condition of the patient if the constant level required for an efficient therapy is to be maintained in the blood and in the spinal fluid.

Nouveaux livres - Buchbesprechungen - Recensioni - Reviews

Contribution to the Physics of Cellulose Fibres

By P. H. HERMANS

221 pp., 13 figures, 3 plates

(Elsevier Publishing Company, Inc., Amsterdam, 1946)

Der Verfasser dieser Schrift, die in der Serie «Monographs on the progress of Research in Holland» erschienen ist, hat als Leiter des «Institute of Cellulose Research» in Utrecht während des Krieges eingehende Studien zur einwandfreien Bestimmung der physikalischen Konstanten der Zellulose durchgeführt. Den Ausgangspunkt bilden isotrope Viskosefäden, die in der Zelluloseliteratur als HERMANSSche Fäden bezeichnet werden. An diesem ausgezeichneten Material kann der Verlauf der Orientierung der Zellulose bei Dehnung quantitativ verfolgt werden. Die physikalischen Konstanten werden daher bei genau definiertem Orientierungsgrade ermittelt. Ebenso wichtig ist die systematisch durchgeführte Variation des Feuchtigkeitsgrades (Quellung). Aus den erhaltenen Abhängigkeiten der Dichte und der optischen Konstanten von Feuchtigkeitsgrad und Orientierung wird auf die experimentell schwer zugänglichen Zustände der absoluten Wasserfreiheit und absoluten Parallelorientierung extrapoliert. Auf diese Weise können die Konstanten absolut trockener regenerierter Zellulose ermittelt und Vergleiche mit der nativen Zellulose angestellt werden.

Von besonderem Interesse sind die Berechnungen über den prozentualen Anteil an kristallisierter und an nicht-kristallisierter Zellulose in den Fasern. Für absolut trockene Viskose wird nachgewiesen, daß in einem solchen Xerogel keine submikroskopischen Räume vorhanden sind; entgegen der allgemeinen Auffassung besitzen derartige vollkommen getrocknete Objekte keine Porosität (verhornte Gele). Der lückenlose Zusammenschluß der Fadenmoleküle setzt eine Nahordnung im gequollenen Zustande voraus.

Das anregende Buch behandelt den weitschichtigen Stoff in vier Abschnitten, von denen der erste die Sorptionserscheinungen (Quellung und Entquellung), der zweite die Dichte, der dritte das Brechungsvermögen (Doppelbrechung) und der vierte die Röntgenanalyse (Studium der Faserorientierung) behandeln.

A. FREY-WYSSLING

Dynamic Aspects of Biochemistry

By E. BALDWIN

457 pp., 27 tables, 34 figures

(Cambridge, at the University Press, 1947) (21s net)

Vielfach besteht die Meinung, die physiologische Chemie sei im wesentlichen eine Chemie biologisch interessanter Stoffe. In Wahrheit stellt dieses letztere Gebiet,

an dessen Erschließung Chemiker, Physikochemiker und Biochemiker Hand in Hand arbeiten, als deskriptive Biochemie nur eine Einleitung zur eigentlichen Biochemie dar. Die obgenannte irrümliche Auffassung wird durch manche Lehrbücher unterstützt, die der deskriptiven Biochemie einen großen Raum gewähren, während das Hauptanliegen der Biochemie, die chemische Dynamik des tierischen Organismus, eher stiefmütterlich behandelt wird.

Es ist angesichts dieser Sachlage sehr zu begrüßen, daß E. BALDWIN ein Lehrbuch geschrieben hat, bei dessen Abfassung organische Chemie und deskriptive Biochemie als bekannt vorausgesetzt wurden, so daß um so mehr Platz für die Beschreibung der Bedeutung und des Schicksals der «Bausteine» der Zelle zur Verfügung stand.

Im Zentrum der Ausführungen steht der Fermentbegriff. Ihm und der Katalyse sind die Eingangskapitel gewidmet. Die Abschnitte über die einzelnen Fermente bleiben nicht in einer bloßen Aufzählung stecken, sondern vermitteln eine Fülle von interessanten Tatsachen und Beziehungen. Ein nützliches Kapitel über die Prinzipien der Enzym- und Stoffwechsellmethodik leitet zu dem Abschnitt über Verdauung und Resorption über. Mehr als die Hälfte des Buches sind dem Stoffwechsel der stickstoffhaltigen Stoffe; der Kohlehydrate und der Fette eingeräumt. Eine Bereicherung bilden die an geeigneten Stellen eingestreuten vergleichend-biochemischen Abschnitte.

Nicht nur die Gesamtanlage, sondern auch verschiedene Darstellungsmittel weichen von der Bahn des Gewohnten ab. Selbstverständlich mußte aus der Fülle des Materials eine engere Auslese getroffen werden. Sie erfolgte im ganzen sehr geschickt und vermittelt einen guten Einblick in den derzeitigen Stand einiger Problemkreise der Biochemie. An der Verteilung der Akzente ist die Herkunft des Buches aus Cambridge (England) deutlich erkennbar. Wir erhalten gewissermaßen eine offiziöse Darstellung der in einem der aktivsten Zentren der biochemischen Forschung geltenden Lehrmeinung. Das Werk ist sinngemäß dem Begründer der Schule, Sir FREDERICK G. HOPKINS, gewidmet.

Das Buch ist äußerst sorgfältig redigiert, so daß nur wenige Druckfehler und Unebenheiten stehenblieben, die leicht korrigiert werden können, und die deshalb hier angeführt werden sollen: Seite 78: Indigo ist ein Indoxyl-, nicht ein Indolglykosid; Seite 86: der Kohlehydratnachweis stammt von MOLISCH, nicht von MÖLISCH; Seite 114: im Reaktionsschema fehlt ein Buchstabe; Seite 244: Dibromtyrosin wurde nicht aus der Koralle *Gorgonia*, sondern *Primnoa* gewonnen. Die Bezeichnung Bromgorgosäure wurde offensichtlich aus Analogie zu Jodgorgosäure gewählt, die tatsächlich aus *Gorgonia*-steingelen isoliert wurde; Seite 246: in der Formel der Kynurensäure fehlt die zu Stickstoff paraständige Oxy-

gruppe; Seite 247: während die Formel des antiken Purpurs richtig wiedergegeben ist, steht in deren Bezeichnung 4,4'-Dibromindigo statt 6,6'-Dibromindigo.

Zweimal wird der Ausdruck Homospezifität gebraucht, ohne dessen Definition zu bringen. Die zusammengehörenden Begriffe Homo- und Heterospezifität, die von M. BERGMANN eingeführt wurden, sind wohl noch zu wenig verbreitet, um bei allen Lesern bekannt zu sein.

Als scheinbarer Unterschied zwischen Fermenten und Katalysatoren wird die Fähigkeit der ersten erwähnt, Reaktionen in Gang zu setzen, während die Katalysatoren nur Reaktionen, die an sich schon ablaufen, beschleunigen sollten. Diese Differenzierung gilt aber nicht durchwegs. Es sei etwa an die bekannten Verfahren erinnert, mit deren Hilfe aus Kohlenmonoxyd und Wasserstoff je nach der Wahl der anorganischen Katalysatoren Methylalkohol oder höhere Alkohole oder benzolähnliche Gemische von Kohlenwasserstoffen fabriziert werden.

Diese kleinen Korrekturen beeinträchtigen die Bedeutung dieses auch äußerlich schön ausgestatteten Buches in keiner Weise. Es verrät den hervorragenden und erfahrenen Meister der didaktischen Darstellung. Selbst die verwickeltesten Reaktionsfolgen sind mit vollendeter Klarheit beschrieben. Es ist dem Autor gelungen, von verhältnismäßig einfachen Voraussetzungen bis zu den Gegenwartsproblemen vorzudringen. Dem vorzüglichen Buch ist im Interesse der Biochemie die weiteste Verbreitung zu wünschen.

E. A. ZELLER

Zwischenhirn und vegetative Funktionen

Von W. R. HESS. 12 Tafeln, 28 Fig., in Leinen (Helv. physiol. et pharm. acta 5, Suppl. IV, pp. 1–85, 1947). Neudruck (Benno Schwabe, Basel) (sFr. 12.–)

The plan of the functional structure of the autonomic nervous system as conceived by LANGLEY leaves open the question of the role to be allocated to the diencephalon. For nearly a quarter of a century, W. R. HESS has been devoting study to this problem, and the results of these investigations, as far as the regulation of the autonomic nervous system is concerned, are here gathered together.

With the aid of an adequate technique for electrostimulation and -coagulation of the intact brain of waking animals moving without restraint, over 3,000 points in the diencephalon of the cat were systematically explored. A pulsating and, in view of the high chronaxia of autonomic fibres, dampened current was employed. The brains were checked histologically. The points stimulated and the response elicited (represented by symbols) were plotted in a series of standardized schematic illustrations and photograms of sagittal and horizontal sections. A general survey shows the responses grouped according to functions together with their location. A short text accompanies the illustrations, the legends of which are in German and English. Typically autonomic responses (pupil, circulation, respiration, etc.) were observed, but also more complex effects, combining autonomic and subcortical motor mechanisms (licking, chewing, sniffing, etc.). Emotional responses were also evoked, finding their expression in attack, flight, bulimia, increased motility, etc.

The division of autonomic activity into ergotropic (mediated by the sympathetic) and trophotropic-endophylactic (mediated by the parasympathetic) effects finds further support in the diencephalic representation

of these two functional systems confined to two distinct areas: Ergotropic effects are produced by stimulation of the caudal part of the hypothalamus, trophotropic effects by stimulation of the rostral part of the hypothalamus, the area praoptica, and the basal septum pellucidum. A focus-like organization cannot be ascribed to these parts of the brain as a general rule. At the hypothalamic level the various isolated autonomic functions are coordinated to collective action, conditions in the periphery mediated by "autonomic proprioceptive" elements determining, however, which effect will prevail.

The hypothalamus furthers moreover the readiness to react (Leistungsbereitschaft) of the animal system, the ergotropic, dynamogeneous zone activating, the trophotropic, adynamogeneous zone dampening. Sleep was elicited by stimulation of circumscribed areas of the thalamus and must not be confused with adynamy resulting from stimulation of the antero-lateral hypothalamus or lethargy after coagulation in the caudal hypothalamus. To sum up, the experiments show that the hypothalamus serves for the synthesis of autonomic functions and correlates autonomic mechanisms with the animal system.

K. AKERT

Visible Speech

By RALPH K. POTTER, GEORGE A. KOPP, and HARRIET C. GREEN. 441 pp., ca. 500 figures.

(D. Van Nostrand Co., New York—Macmillan & Co. Ltd., London, 1947) (Dollarprice 4,75; Sterlingprice 25s.)

Während des Krieges wurde in den Laboratorien der Bell Telephone Co. eine neue Methode entwickelt, um gesprochene Worte in einem lesbaren Oszillogramm sichtbar zu machen. Das von einem Mikrophon aufgenommene Signal wird verstärkt und durch Filter in sein Frequenzspektrum zerlegt. Die Intensitäten der einzelnen Fourier-Komponenten werden in Form horizontaler Striche verschiedener Helligkeit auf einem sich bewegenden Fluoreszenzschirm aufgezeichnet, wobei die einzelnen Frequenzbänder senkrecht übereinander angeordnet sind. Man erhält so einen bewegten Raster. Jeder Laut erzeugt ein typisches Rasterbild, das bei allen Menschen mit normaler Aussprache dieselben charakteristischen Merkmale zeigt. Die gesprochenen Worte werden somit in einer Art phonetischer Schrift, die allerdings zuerst gelernt werden muß, unmittelbar aufgeschrieben.

Der zweite Teil des Buches enthält einen vollständigen Kurs zur Erlernung des neuen phonetischen Alphabets. Eine große Zahl typischer Rasterbilder ergänzen den Text. Im dritten Teil werden die verschiedenen Anwendungen dieses Verfahrens diskutiert, das ursprünglich den vollständig tauben Menschen das Telefonieren ermöglichen sollte. Zahlreiche Reproduktionen erläutern seine Bedeutung zur Untersuchung von Sprache und Musik, ferner zur Verbesserung der Aussprache von Tauben und zur Diagnose bei Menschen mit Sprachfehlern. Wir können Oszillogramme der Stimmen CARUSOs und anderer bekannter Sänger bewundern. Selbst ein Jodel der Ländlerkapelle «Die Vierwaldstätter» und die Stimme eines Papageis fehlen in der überaus gründlichen Zusammenstellung nicht.

Zum Schluß sei erwähnt, daß noch kein gutes und gleichzeitig billiges Gerät hergestellt wird, womit der Anwendungsbereich des Verfahrens vorläufig beschränkt bleibt. Druck und Ausstattung des Buches entsprechen der guten Qualität, wie man es vom Verlage her gewohnt ist.

E. BALDINGER

Informations - Informationen - Informazioni - Notes

Die Zoologische Station in Neapel

Der gegenwärtige Stand ihrer Ausrüstung für experimentell-biologisches, besonders biochemisches und physiologisches Arbeiten.

Als ich vor zwei Jahren an dieser Stelle¹ einen ersten Bericht über die Zoologische Station gab, schloß ich mit dem Ausdruck der Hoffnung, daß bald wieder die Biologen der verschiedenen Länder sich zur gemeinsamen Arbeit in den Laboratorien der Station zusammenfinden mögen. Dieser Wunsch ist in Erfüllung gegangen. Im Jahre 1947 haben 57 Forscher die Laboratorien der Zoologischen Station besucht. Darunter waren 24 Auswärtige, und zwar kamen als Tischbesetzer aus Amerika (USA.) 2, Belgien 1, Großbritannien 5, Holland 4, Spanien 1, Schweden 1, Schweiz 5. Ferner als Gäste: aus Frankreich 2, Ungarn, Griechenland, Türkei je 1.

Der daraus resultierende lebendige Kontakt mit den verschiedensten Arbeitsrichtungen in der Biologie, noch ergänzt durch persönliche Fühlungnahme auf verschiedenen Kongressen und Symposien, gab uns einen Überblick über die dringendsten Forderungen für die Vervollständigung der Ausrüstung unserer verschiedenen Laboratorien. Das führte zur Aufstellung eines ersten Programms, mit einer Liste von Anschaffungen und Einrichtungen mit besonderer Berücksichtigung möglichst vielseitiger Verwendbarkeit. Dank der Unterstützung durch Behörden und gelehrte Körperschaften in Italien sowohl wie in anderen Ländern, besonders aber auch dank des verständnisvollen Interesses der Rockefeller Foundation und der internationalen kulturellen Exponenten UNESCO und IUBS und deren aktiver Förderung war es uns möglich, einen Teil dieses Programmes schon zu realisieren. Infolgedessen steht heute den Laboratoriumsgästen, die biochemisch oder physiologisch, oder überhaupt experimentell-biologisch arbeiten wollen, ein wesentlich verbesserter und bereicherter Forschungsapparat zur Verfügung als vor dem Krieg.

Diese Arbeitsmöglichkeiten dem Leserkreis der «Experientia» bekanntzumachen, erscheint um so wünschenswerter, als die Bezeichnung «Zoologische Station» zu eng gefaßt ist und nicht ohne weiteres erkennen läßt, daß sich hinter dem Namen ein Forschungslaboratorium birgt, das biologisch interessierten Wissenschaftlern auch aus medizinischen, chemischen und physikalischen Instituten willkommene Arbeitsgelegenheit bieten und nützliche Dienste leisten kann.

Um eine Vorstellung der gegenwärtigen Forschungsmöglichkeiten zu vermitteln, geben wir im folgenden einen Überblick über die hauptsächlichsten Themen der im vergangenen Jahr hier durchgeführten Arbeiten.

Neben den gewohnten ökologischen, histologischen und zytologischen Untersuchungen, wobei auch ultrastrukturelle Studien an isolierten Zellkernmembranen zu erwähnen sind, wurden verschiedene experimentell-embryologische Themen bearbeitet. Von sinnesphysiologischen Arbeiten seien außerdem erwähnt: Beobachtungen über das Verhalten von Fischen und von *Octopus*, nach operativen Eingriffen im Zentralnervensystem; ferner Hell/Dunkel-Adaptation bei Krustern. — Eine größere Anzahl der Tischbesetzer befaßte sich mit biochemischen Arbeiten, wie zum Beispiel der chemischen Umsetzung beim Schließmuskel der Muscheln; über die chemische Natur des Chlorocruorins; Struktur und Funk-

tion des Vanadiumchromogens (Aszidenblut). Beim klassischen Objekt, den Seeigeln, wurde das Antifertilizin und die Hyaluronidase chemisch untersucht. Bearbeitet wurde auch der Phosphorumsatz im elektrischen Organ von *Torpedo*.

Bei diesen biochemischen Arbeiten leistet besonders nützliche Dienste eine «Freeze-drying»-Apparatur nach Floßdorf & Mudd zur rapiden Entwässerung bei tiefen Temperaturen im Hochvakuum, und ein Tiefkühler («Ice box») von «Electrolux» bis zu -25°C . Beide sind der finanziellen Beihilfe des Schwedischen Forschungsrates und des Wenner-Grens-Instituts in Stockholm zu verdanken. Eine konstante Temperaturkammer von 0° , jüngster Einrichtung, wird als wertvolle Ergänzung dazu empfunden werden. — Eine zweite Kammer für $+15^{\circ}\text{C}$ konstanter Temperatur dient biologischen Zuchtversuchen. Damit wird einem längst empfundenen Bedürfnis entsprochen.

Im übrigen geben wir hier nachfolgend eine Liste aller wichtigen Instrumente und Apparaturen, und der Spezialeinrichtungen — teils schon seit langem verfügbar und — soweit sie beschädigt waren, wieder instand gesetzt, teils in den jüngsten Jahren neu dazugekommen:

Spektrograph (Hilger E 3) mit Quarzoptik für Messungen im Sichtbaren und Ultraviolett bis 2000 Å , mit Wasserstofflampe und Quecksilberbogenlampe.

Thermoelementphotometer nach MOLL zur Analyse von Spektrogrammen (Kipp & Zonen).

Spektrophotometer (Kipp & Zonen) für das sichtbare Licht, mittleres Modell, mit Monochromator für vergleichende und absolute Messungen mit Hilfe von thermoelektrischen Elementen.

Kolorimeter mit photoelektrischer Zelle (Klett & Summerson) Kolorimeter nach DUBOSQ.

Stufenphotometer (Zeiß); Tauchrefraktometer (Zeiß); Polariometer; Spektroskop zur direkten Beobachtung; Natriumdampflampe.

Kathodenstrahlenoszillograph nach ALLEN DU MONT; Galvanometer nach BROCA; Saitengalvanometer von EINTHOVEN.

Kapillarelektrometer; Elektrometer von LINDEMANN (Cambridge Instrument Company); Quadrantenelektrometer.

Apparat zur elektrischen p_{H} -Messung «Pehavi» (mit Chinhydrone, Kalomel- und Glaselektroden); idem (Leeds & Northrup); idem nach BECKMAN (nur mit Glaselektroden).

Rheokord von KÖHLER mit Widerstandskasten für 1000, 10000 und $100000\ \Omega$.

Präzisionsvoltamperemeter für Gleichstrom; Thermosäule nach HILL für Wärmeproduktionsmessung im Muskel (Modell 1928); vollständige Apparatur für Elektrodialyse; Apparat zur Leitfähigkeitsmessung (Philoskop GM 4140).

Viskosimeter nach HÖPPLER; idem nach OSTWALD.

Apparat zur Gefrierpunktsbestimmung; Präzisionswaagen von SARTORIUS und von RUEPPRECHT; Torsionswaage; Barometer nach FORTIN.

Ultrathermostat HÖPPLER ($\pm 0,05^{\circ}$).

Winkelzentrifuge ECCO-Blitz 16000 Umdrehungen, Kapazität 40 ml. Große Zentrifuge von RUNNE für Gleichstrom mit magnetischer Bremsung, 2000 Umdrehungen, Kapazität $6 \times 500\text{ ml}$.

Verschiedene andere Zentrifugen.

Hydraulische Presse. Mikropresse (bis zu 500 Atm.).

Vakuumpumpe nach LEYBOLD; zweistufige Vakuumpumpe nach LEYBOLD, bis zu $0,02\text{ mm Hg}$. Quecksilberdiffusionsvakuumpumpe.

Tiegelofen. Elektrischer Ofen zur Mikroeinäscherung nach POLICARD. Trockenschränke. Autoklav.

VAN-SLYKE-Manometer: offener Typ; idem: geschlossener Typ. Stalagmometer nach TRAUBE.

HALDANE-Apparat für Gasanalyse, mit angeschlossener Verbrennungskammer für Wasserstoffbestimmung. Apparat zur Reinigung von N_2 und H_2 .

3 WARBURG-Thermostate mit entsprechenden Sätzen von Manometern. Kontaktthermometer. Heizröhren für Thermostaten.

¹ Exper. 2, 115 (1946).

Kymographien (mit Uhrwerk und elektrischem Antrieb); Zeitschreiber; Chronometer (0,1 Sek.).

VAN-SLYKE-Apparat für Aminostickstoff; Aerotonometer nach KROGH. VAN DAN-Pipetten für Mikroanalyse des im Wasser gelösten Sauerstoffes.

Mikrotitrierapparat von LINDERSTRÖM-LANG.

Außer den üblichen Glasgeräten finden sich im chemischen Laboratorium die Ausrüstung für organische Mikroanalysen (Semi-Mikromethode nach PREGL für C und H und für N; für die Halogene nach PREGL und TER MEULEN; Mikrobestimmung des Molekulargewichts nach RAST; Titrierung der Ribonukleinsäure nach BRACHET usw.); Apparate zur fraktionierten Destillation im Vakuum, zur katalytischen Hydrogenierung, Mikrobüretten, Pyknometer usw.

Trotz der bestehenden Bezugsschwierigkeiten ist das Institut gut mit organischen und anorganischen Reagenzien *pro analysi* versehen.

Der elektrische Strom (Drehstrom 50 Perioden) kann in zwei Spannungen abgenommen werden: 260 V und 150 V. – Ein Aggregat zur Herstellung von Gleichstrom bis zu 110 V und bis zu 9–10 A ist vorhanden.

Zur Verfügung stehen auch eine beschränkte Anzahl von Mikroskopen und Binokularen; ferner ein Polarisationsmikroskop (Leitz), einige Kardioid- und Wechselkondensatoren; zwei Mikromanipulatoren (nach PETERFI [Zeiß] und nach CHAMBERS [Leitz]), Mikroskopierlampen, Bogenlampen, Quecksilberlampe usw.

Zur Mikrophotographie steht eine Leica, und entsprechende Dunkelkammer mit Vergrößerungsapparat, zum Gebrauch.

Die *Bibliothek* konnte dank der traditionellen Kooperation die durch den Krieg bedingten Lücken wieder auffüllen, so daß sie jetzt mit ihren 45 000 Bänden und etwa 250 Zeitschriften ihren Rang als eine der bedeutendsten biologischen Fachbibliotheken wieder eingenommen hat.

Die *Materialversorgung* ist, nachdem eine Spezialbeihilfe des Comitato Talassografico die Grundreparatur der Motorboote ermöglicht hat, wieder gut organisiert.

Für die Assistenz bei rein physiologischen Arbeiten ist jetzt auch durch den Eintritt von Dr. ENZO BOERI in den Verband der Station gesorgt.

Alles in allem kann also mit Genugtuung festgestellt werden, daß *viribus unitis* die Zoologische Station ihre frühere Leistungsfähigkeit wieder weitgehend zurückgewonnen hat. Wir wünschen diese in steigendem Maße zu vervollkommen, sowohl was die Ausrüstung als auch was die Assistenz anbelangt. Beide wachsen in dem Maße, als neue und vielfältige Ansprüche an uns heranreten, denen nach Kräften gerecht zu werden das Institut als seine vornehmliche Aufgabe betrachtet. Wir hoffen also weiterhin auf zahlreichen Besuch von Vertretern der biologischen Wissenschaften im weitesten Sinne.

Da es eine der nützlichen Funktionen der Zoologischen Station ist, den Forschern aus verschiedenen Ländern und verschiedenen Arbeitsgebieten Gelegenheit zu an-

regendem persönlichen Kontakt zu bieten, weswegen man das Institut gelegentlich mit der Bezeichnung «permanent internationaler Kongreß» charakterisiert hat, scheint es uns angebracht, zum Schluß ganz kurz die Namen derjenigen Forscher aufzuführen, die sich zu längerem Arbeiten im Laboratorium bis jetzt eingefunden oder angemeldet haben: J. RUNNSTRÖM und Frau, nebst Assistenten LUNDBLAD (Wenner-Grens-Institut Stockholm) und BOHUS JENSEN (Carlsberg Laboratorium Kopenhagen); L. MULLINS (Berkeley-California), gemeinsames Thema: Physiologie und Biochemie der Befruchtung unter Verwendung radioaktiver Isotopen; S. HÖRSTADIUS (Uppsala): Entwicklungsphysiologische Studien am Seeigellei; J. Z. YOUNG und B. B. BOYCOTT (Univ. College London): Verhalten von *Octopus* nach Operation am Zentralnervensystem; E. M. BROWN (Plymouth): Parasitische Protozoen; H. NÜESCH (Basel): *Echinodermata*; H. MISLIN (Basel): vergleichende Herzphysiologie.

Wir sind gerne bereit, im einzelnen Auskunft über die vorhandenen Arbeitsmöglichkeiten zu geben, wie auch gegebenenfalls Wünsche wegen Beschaffung spezieller Apparaturen zu prüfen. – Für den Fall, daß Apparate mitgebracht werden, vermittelt die Verwaltung der Station nach vorheriger Verständigung, wenn irgend möglich, die zeitweilige zollfreie Einfuhr beim hiesigen Zollamt, wo die Erfordernisse des Institutsbetriebes Entgegenkommen finden.

Endlich sei noch erwähnt, daß den Stationsgästen an einer «mensa», im Institut selbst, Gelegenheit geboten ist, mittags und abends einfache Mahlzeiten zu billigem Preis einzunehmen.

Über alles im vorstehenden kurz Erwähnte wird natürlich gern ausführlich Auskunft erteilt, ebenso auch über Unterkunftsmöglichkeiten in Neapel.

R. DOHRN

Stazione Zoologica, Napoli.

International Physical Meeting

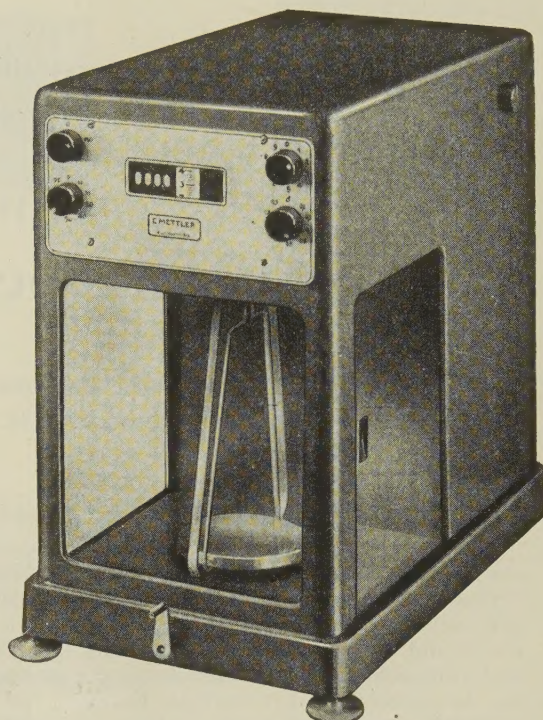
An International Physical Meeting has been arranged by the Federal Polytechnical School, the University of Zurich and the Physical Society of Zurich. It will take place in Zurich from July 5 to July 9. Subjects of Meeting: Nuclear Physics, Physics of Solids. Interim secretary: Dr. RES JOST, Department of physics, University of Zurich.

ANALYSENWAAGEN

Schnellwaagen
Optischer Bereich 100 mg

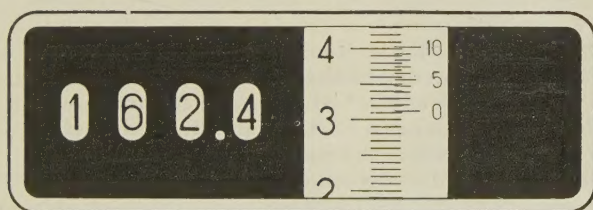
Leistungstabelle

Type	Maximale Belastung	Ablesegenauigkeit
200 A3	200 g	$\pm 0,1$ mg
200 A4 N	200 g	$\pm 0,05$ mg
100 A5 M	100 g	$\pm 0,02$ mg



Type 200 A4 N

Sie lesen direkt ab:



Gewicht = 162,4312 g

Schweizer

MUSTERMESSE

in Basel · Stand Nr. 2776

Halle III b, 3. Stock

E. METTLER

Präzisionsapparate

KÜSNACHT-ZCH.

Telephon (051) 34 05 53

(Büro Zürich)

Neuerscheinung

A. VON MOOS UND F. DE QUERVAIN

Technische Gesteinskunde

VIII + 222 Seiten mit 115 Abbildungen und über 60 Tabellen

in Ganzleinen gebunden Fr. 33.—, broschiert Fr. 29.—

Das soeben erschienene Werk gibt vom Standpunkt des Petrographen und Geologen aus einen kurzgefaßten Überblick über die Beziehungen, die zwischen Gesteinskunde und Technik bestehen. Das Hauptgewicht liegt dabei auf der Darstellung der Eigenschaften der Locker- und Festgesteine, soweit sie für die Beurteilung ihres Verhaltens als Baugrund und als Baustoff von Bedeutung sind. Ausführlicher ist auch die Bausteinverwitterung behandelt, während die bereits stark chemische Fragen berührenden Gebiete, wie die Gesteine als Rohstoff der Keramik, der Bindemittel usw., mehr als Ergänzung aufgeführt sind. Die eigentliche Lagerstättenpetrographie («praktische Petrographie») ist nicht behandelt.

Die Autoren waren bestrebt, in Kürze ein Gebiet darzustellen, dem sich weder die Lehrbücher der Petrographie noch die eigentliche technische Literatur über Straßenbau, Grundbau, Baumaterialien, Keramik usw. im Zusammenhang widmen können. Das Buch wendet sich deshalb sowohl an den Petrographen und Geologen wie ganz besonders auch an den Ingenieur und Techniker. Das kleine Werk ist kein Handbuch, sondern faßt in den Hauptkapiteln in erster Linie die persönlichen Erfahrungen und Beobachtungen der beiden Verfasser zusammen. Diese teilten sich in die Arbeit in der Weise, daß Dr. A. VON MOOS, Geologe und Petrograph an der Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH.), Zürich, in der Hauptsache die Lockergesteine und die Baugrundfragen, Privatdozent Dr. F. DE QUERVAIN, Leiter der Geotechnischen Prüfstelle am Mineralogisch-petrographischen Institut der ETH. und der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Zürich, die Festgesteine und die ins Chemische überleitenden Abschnitte bearbeitete.

Inhalt: Übersicht der wichtigsten gesteinsbildenden Mineralien – Technisch wichtige Gesteinseigenschaften und ihre Bestimmung – Die Hauptgesteine und ihr wichtigstes technisches Verhalten – Das Verhalten der Gesteine als Baugrund – Spezielle Anforderungen an Gesteine nach Verwendung – Die Gewinnung von Nutzgestein (Anlage eines Steinbruches oder einer Grube) – Die Bearbeitung der Gesteine – Die Bausteinverwitterung.

Zu beziehen durch die Buchhandlungen

VERLAG BIRKHÄUSER BASEL